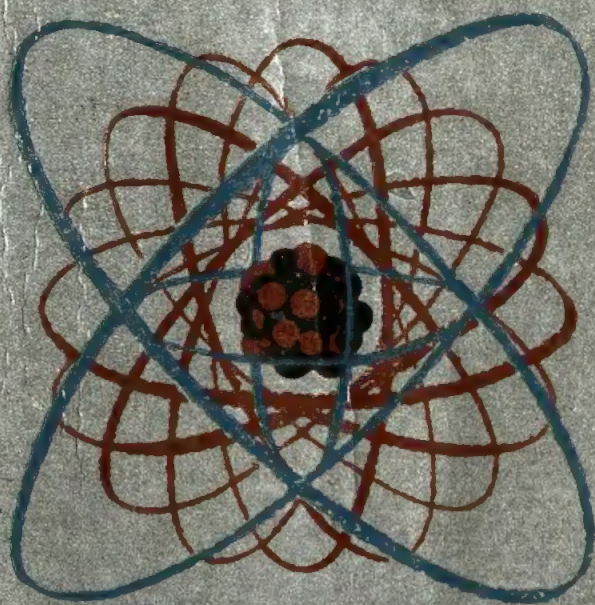


উচ্চ মাধ্যমিক

# পদার্থবিজ্ঞান



ডঃ অজয়কুমার চক্রবর্তী

দুথিন্স



উচ্চ মাধ্যমিক

# পদার্থবিজ্ঞান

দ্বিতীয় খণ্ড

[ সংশোধিত সিলেবাস ও গাইড্-লাইনস্ অনুসারে ]

[ একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর পাঠ্য ]

৪৭৮

ডঃ অজয়কুমার চক্রবর্তী, এম. টেক., ডি. ইঞ্জ. ( প্যারিস ),  
স্নাইডার, ফলিত পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ, কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়,  
প্রাক্তন অধ্যাপক, রামমোহন কলেজ, বিদ্যাসাগর  
কলেজ ( সাক্ষ্য বিভাগ ), কলিকাতা ।

এবং

‘ব্যবহারিক পদার্থবিজ্ঞান’, ‘পদার্থবিজ্ঞানের অঙ্ক’, ‘পদার্থবিজ্ঞান-বিচিত্রতা’,  
‘Fundamentals of Physics’, ‘পদার্থবিজ্ঞান’ ( দ্বিতীয় শ্রেণীর )  
ও ‘মাধ্যমিক পদার্থবিজ্ঞান ও রসায়ন’ প্রভৃতি গ্রন্থের প্রণেতা ।

৫৪৪

১৯৮৯

সুখিসম (ক্যালকটি) প্রাইভেট লিমিটেড

৯ এ্যাপ্টন বাগান লেন, কলিকাতা-৭০০ ০০৯  
২ বঙ্কিম চ্যাটার্জী স্ট্রীট, কলিকাতা-৭০০ ০৭৩

প্রকাশক : আর. কে. সাহা  
পুথিপত্র ( ক্যালকাটা ) প্রাইভেট লিমিটেড । ৯ এ্যাৰ্টনি বাগান লেন ।  
কলিকাতা ৭০০ ০০৯

© গ্রন্থকার

প্রথম প্রকাশ : আগস্ট, ১৯৭৭  
দ্বিতীয় সংস্করণ, অক্টোবর, ১৯৭৭  
তৃতীয় সংস্করণ, সেপ্টেম্বর ১৯৭৯  
চতুর্থ সংস্করণ, নভেম্বর, ১৯৮০  
পুনর্মুদ্রণ, এপ্রিল, ১৯৮২  
পঞ্চম সংস্করণ, আগস্ট, ১৯৮২  
পুনর্মুদ্রণ, মে, ১৯৮৩  
পুনর্মুদ্রণ, জুলাই, ১৯৮৪  
ষষ্ঠ সংস্করণ ( নতুন পাঠ্যক্রম অনুসারে )  
মে, ১৯৮৬  
সপ্তম সংস্করণ, আগস্ট, ১৯৮৭  
অষ্টম সংস্করণ, জুন ১৯৮৮  
নবম সংস্করণ, জুলাই ১৯৮৯

Acc No - 16512

মুদ্রক : বি. রায়  
রায় প্রিন্টার্স । ৯ এ্যাৰ্টনি বাগান লেন । কলিকাতা-৭০০ ০০৯

মূল্য : পঞ্চাশ টাকা



উৎসর্গ

পিতা শ্রীযুক্ত গুরুদাস চক্রবর্তী

এবং

মাতা শ্রীযুক্তা চারুবালা দেবীকে



## সপ্তম সংস্করণের ভূমিকা

পশ্চিমবঙ্গ শিক্ষা সংসদ প্রবর্তিত নতুন পাঠ্যসূচীর প্রধান বৈশিষ্ট্য হ্রস্বোত্তর প্রশ্নাবলীর (short-answer-type questions) উপর বিশেষ গুরুত্ব আরোপ। নতুন পাঠ্যসূচীর নির্দেশ অনুসারে পদার্থবিজ্ঞানের দুইটি ষিওরেটিক্যাল পেপারের জন্য নির্দিষ্ট মোট নম্বরের 30% নম্বর বরাদ্দ করা হইয়াছে হ্রস্বোত্তর প্রশ্নাবলীর জন্য। পাঠ্যসূচীর এই নির্দেশে উচ্চ মাধ্যমিক স্তরে পদার্থবিজ্ঞানের গঠন-পাঠনে গতানুগতিকতার অবসান ঘটিবে এবং বাঞ্ছিত পরিবর্তন সূচিত হইবে এইরূপ আশা করা যায়। কেবলমাত্র নিবন্ধনমাত্র প্রশ্নাবলীর সাহায্যে ছাত্রছাত্রীদের মেধা এবং অধীত বিষয়গুলির উপর তাহাদের দখল সম্পর্কে সুস্পষ্ট ধারণা পাওয়া যায় না। ইহা ছাড়া, নিবন্ধনমাত্র প্রশ্নাবলীর উপর বেশি গুরুত্ব দিলে ছাত্রছাত্রীদের মধ্যে না-বুঝিয়া মুখস্থ করিবার প্রবণতা বাড়ে, ইহাতে তাহারা পাঠ্যসূচীর অন্তর্ভুক্ত বিষয়গুলির গভীরে প্রবেশ করিতে অক্ষম হয়। পঠন-পাঠনে হ্রস্বোত্তর প্রশ্নাবলী গুরুত্ব পাইলে স্বাভাবিকভাবেই ছাত্রছাত্রীরা পঠিতব্য বিষয়াদির খুঁটিনাটির দিকে নজর দিতে আগ্রহী হইবে। যে-সব শিক্ষার্থী এ আগ্রহ চরিতার্থ করিতে প্রয়াসী হইবে অচিরেই পদার্থবিজ্ঞানের অন্তর্নিহিত রূপ-মাধুর্য তাহাদের গোচরে আসিবে। এ দৃষ্টি যাহারা লাভ করিবে তাহারাই দুলভ আনন্দবোধ এবং বিষ্ময়বোধ লইয়া বিজ্ঞানের পথে সার্থক যাত্রা হইতে পারিবে।

বিজ্ঞানের মোহন ও আকর্ষণীয় রূপটি ছাত্রছাত্রীদের কাছে তুলিয়া ধরিবার দায়িত্ব বিজ্ঞানের গ্রন্থ-রচয়িতারও আছে। সে-দায়িত্ব পালনে কতটা সক্ষম হইয়াছি আমার সতীর্থ শিক্ষক এবং অধ্যাপকগণই তাহার বিচার করিবেন। আমি কেবল বিনীতভাবে এইটুকু বলিতে পারি যে, আমার সীমিত সামর্থ্য লইয়া একনিষ্ঠভাবে-চেষ্ঠা করিয়াছি বইটিকে আদর্শ পাঠ্যপুস্তকের রূপ দিতে। পাঠ্যপুস্তকে তত্ত্ব এবং তথ্য-পরিবেশন যতটা জরুরি, শিক্ষার্থীদের স্বাধীনভাবে চিন্তা করিতে শিখানো ততোধিক জরুরি। প্রতিটি পরিচ্ছেদের আলোচনা প্রসঙ্গে সম্ভাব্য নানান দিকে ছাত্রছাত্রীদের দৃষ্টি আকর্ষণ করিবার চেষ্ঠা করিয়াছি যাহাতে আলোচ্য বিষয় সম্পর্কে তাহাদের সম্যক ধারণা জন্মে এবং ঐ প্রসঙ্গে যে-কোন প্রশ্নের উত্তর তাহারা নিজেরাই খুঁজিয়া পায় এবং ঐরূপ অনুসন্ধানে আগ্রহী হয়। গ্রন্থটি যদি এ উদ্দেশ্য-সাধনে সফল হয় তাহা হইলেই আমার শ্রম সার্থক হইয়াছে বলিয়া মনে করিব।

শিক্ষা-সংসদ লেখকদের প্রতি নির্দেশ দিয়াছেন সকল পরিচ্ছেদের শেষে 'সার-সংক্ষেপ' (summary) সংযোজিত করার। শিক্ষা-সংসদের এই নির্দেশ অনুসারে বর্তমান সংস্করণে প্রতিটি পরিচ্ছেদের শেষে আলোচ্য বিষয়গুলির সারাংশ দেওয়া হইয়াছে। বিভিন্ন পরিচ্ছেদের সার-সংক্ষেপগুলি পাড়িয়া ছাত্রছাত্রীরা দ্রুত তাহাদের পাঠ্যক্রমের বিষয়ের প্রধান জ্ঞাতব্যগুলি বালাইয়া লইতে পারিবে।

পাঠ্যসূচীর বাহির্ভূত কোন বিষয় সম্পর্কে আলোচনা করিয়া ছাত্রছাত্রীদের উপর অকারণ বোঝা চাপাইয়া দেওয়া সমীচীন মনে করি নাই। কিন্তু পাঠ্যসূচীর অন্তর্ভুক্ত



বিশ্বের উপর আলোচনার নিরবচ্ছিন্নতা এবং সম্পূর্ণতার দাবীতে কোন কোন ক্ষেত্রে পাঠ্য-সূচীর গভী পার হইতে হইয়াছে। পাঠ্যসূচীর কিছু অসঙ্গতির জন্যই এই স্বাধীনতা লইতে হইয়াছে। ব্যবহারিক পদার্থবিজ্ঞানের পাঠ্যসূচীতে হেয়ার যন্ত্রের সাহায্যে তরনের আর্পেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের পরীক্ষাটি অন্তর্ভুক্ত করা হইয়াছে। তাই, থিওরেটিক্যাল-এর পাঠ্যসূচীতে হেয়ার যন্ত্রের উল্লেখ না থাকিলেও বর্তমান সংস্করণে হেয়ার যন্ত্রের কার্যনীতি বর্ণনা করা হইয়াছে।

প্রতিটি পরিচ্ছেদের অনুশীলনে বহুসংখ্যক হ্রস্বোত্তর প্রশ্নাবলী সন্নিবিষ্ট হইয়াছে। এই সকল প্রশ্নের উত্তর সম্পর্কে ভাবনা-চিন্তা করিলে ছাত্রছাত্রীরা বিশেষভাবে উপকৃত হইবে এবং এইরূপ চর্চার ফলে তাহারা পাঠ্যসূচীর সকল বিষয়কে ভালভাবে স্বীকৃত (assimilate) করিতে পারিবে। তখন অনেক অজানা প্রশ্নের সঠিক উত্তর তাহারা নিজেরাই খুঁজিয়া পাইবে।

উচ্চ মাধ্যমিক শিক্ষা সংসদ সম্প্রতি (১৯৮৭ সালে) পদার্থবিজ্ঞানের নমুনা প্রশ্নাবলী প্রকাশ করিয়া বর্তমান উচ্চ মাধ্যমিক স্তরে পঠন-পাঠনের মান নির্দেশ করিয়া দিয়াছেন। এই নমুনা প্রশ্নাবলীর ভিত্তিতে বর্তমান সংস্করণে গ্রন্থটির কয়েকটি বিষয়বস্তুর আলোচনা বিস্তৃততর করা হইয়াছে।

প্রতি পরিচ্ছেদে ছাত্রছাত্রীদের অনুশীলনের জন্য বহুসংখ্যক এবং বহু ধরনের গাণিতিক প্রশ্ন দেওয়া হইয়াছে। এই প্রশ্নগুলির সমাধানের ব্যুত্তীয়ারা এবং পদ্ধতি অনুসরণ করিলে অনুশীলনের অঙ্কগুলি ছাত্রছাত্রীরা নিজেরাই সমাধান করিতে পারিবে। অনুশীলনের শেষের দিকে যে-সব জটিলতর গাণিতিক প্রশ্ন সংযোজিত হইয়াছে সে-সব সমাধান করিতে পারিলে ছাত্রছাত্রীরা জয়েন্ট এন্ট্রাল, আই. আই. টি. এ্যাডমিশন টেস্ট ইত্যাদি প্রতিযোগিতামূলক পরীক্ষায় বিশেষভাবে উপকৃত হইবে।

গ্রন্থটির বর্তমান রূপের জন্য আমি স্বীহাদের নিকট স্বর্ণী তাঁহাদের মধ্যে আছেন শ্রীজয়দেব চক্রবর্তী, শ্রীঅচিন্তা সিংহ, অধ্যাপক রণজিৎ দাস, শ্রীঅমল সংপথী, অধ্যাপক ললিত ব্যানার্জী, ডঃ হরমোহন মুখোপাধ্যায় এবং ডঃ সন্ধিকুমার বেরা।

বর্তমান সংস্করণের পরও গ্রন্থটির উৎকর্ষ-বৃদ্ধির অবকাশ নিশ্চয়ই থাকিবে। এ ব্যাপারে সতীর্থ শিক্ষক ও অধ্যাপকদের অভিমত ও পরামর্শ ধন্যবাদ এবং কৃতজ্ঞতার সহিত গৃহীত হইবে।

সীমিত সময়ের মধ্যে বইটির প্রকাশনার ব্যাপারে স্বীহারা নানানভাবে আমার সহিত সহযোগিতা করিয়াছেন তাঁহাদের মধ্যে আছেন শ্রীরদেশ ঘোষ, শ্রীদুলাল বস্তু, শ্রীনরেশ দাস, শ্রীনীরেন শীল, শ্রীসমরেন্দ্র সাহা, শ্রীসুনীল কাননগো, শ্রীগুভাষী বসাক এবং শ্রীশঙ্কর ভট্টাচার্য। তাঁহাদের নিকট আমার কৃতজ্ঞতার সীমা নাই।

২১এ কবি সুকান্ত সরণী  
কালিকাতা-৭০০ ০৮৫  
৫-ই আগস্ট, ১৯৮৭

অব্যক্ত হস্তাক্ষর



## প্রথম সংস্করণের ভূমিকা

গ্রন্থটির প্রথম খণ্ড প্রকাশিত হইবার পর হইতেই শিক্ষক ও অধ্যাপক মহল দ্বিতীয় খণ্ডটি অবিলম্বে প্রকাশ করিবার অনুরোধ জানাইয়াছেন—কখনো প্রকাশকের দপ্তরে, কখনো সরাসরি আমার কাছে। কিন্তু নানা কারণে বইটি শেষ করিতে দেবী হইয়াছে। এ ব্যাপারে আমার কয়েকটি কৈফিয়ৎ আছে। তড়াহুড়া করিয়া ভুলভ্রান্তিতে ভরা গ্রন্থ প্রকাশ করিয়া ছাত্রছাত্রীদের হাতে তুলিয়া দেওয়া সমীচীন মনে করি নাই বলিয়া বাজারে চাহিদা থাকা সত্ত্বেও গ্রন্থরচনা সমাপ্ত করিতে বিলম্ব হইয়াছে। পেশাগত জীবনের আর পাঁচটা দায়িত্ব ও কর্তব্য-পালনের ফাঁকে ফাঁকে এ বই-এর পাণ্ডুলিপি রচনা করিয়াছি। স্বাভাবিকভাবেই পাণ্ডুলিপি শেষ করিতে বিলম্ব হইয়াছে। ইহা ছাড়া, কীভাবে লিখিলে ছাত্রছাত্রীরা সহজে বিষয়গুলি হৃদয়ঙ্গম করিতে পারিবে এবং পদার্থবিজ্ঞানের অন্তর্নিহিত সৌন্দর্য উপলব্ধি করিয়া বিষয়টির প্রতি আকৃষ্ট হইবে পাণ্ডুলিপি তৈয়ারী করিবার সময় তাহা লইয়া যথেষ্ট ভাবিয়াছি। নিজের প্রতি অসন্তোষে নিজের লেখাকে বার বার ব্যতিল করিয়াছি—এইভাবে প্রতিদিন দুই-চারি পাতা লিখিয়া এই বৃন্দাকার গ্রন্থের পাণ্ডুলিপি শেষ করিয়াছি। লেখার সময় যে-পরিশ্রম করিয়াছি, জানি না গ্রন্থটির পাতায় তাহার ছাপ রাখিতে পারিয়াছি কিনা।

‘গচ্ছতঃ স্বলনম্’—চলিতে গেলে স্বলন থাকিবেই। তবে ভরসা এই, অধ্যাপক ও শিক্ষকগণ আছেন; তাঁহারা ই গ্রন্থটিকে দুটিমুহুর্ত করিবার নির্দেশ দিবেন—এ বিশ্বাস আমার আছে।

ফলিত পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ  
কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়  
২২ আচার্য প্রফুল্লচন্দ্র রোড  
কলিকাতা-৭০০ ০০২

অজয়কুমার চক্রবর্তী

# PHYSICS

Full Marks=200

Paper—I : Full marks—80

Paper—II : Full marks—80

Physics Practical=40

## Paper—II

Sl. No.	Modules	Weightage	Weightage on question types
1.	Optics	20 marks	Essay type 12 marks Short answer type 8 marks
2.	Magnetism	10 marks	Essay type 7 marks Short answer type 3 marks
3.	Electrostatics	10 marks	Essay type 7 marks Short answer type 3 marks
4.	Current Electricity	15 marks	Essay type 12 marks Short answer type 3 marks
5.	Modern Physics	15 marks	Essay type 12 marks Short answer type 3 marks

## SYLLABUS

### OPTICS

20 marks : Essay Type—12, Short answer type—8

**Reflection :** At a plane Surface Reflection Laws of reflection (statement & explanation with diagrams), definition of real & virtual images. For plane mirrors object—image relation (size, nature & distance). Parallel & inclined mirrors, Angular deviation of a reflected ray due to rotation of mirrors.

Reflection at a curved surface ; Spherical mirrors ; different types ; definitions of centre of curvature, pole, principal axis, principal focus, aperture, focal length. Mathematical relations between  $u$ ,  $v$ ,  $f$  &  $r$ . Formula for magnification. Problems, correct location of images for extended objects at different position by ray tracing using scale or graph-paper.

**Refraction of light :** Law's of refraction (statement, explanations with ray diagrams) ; definition of refractive index (relative & absolute) ; cases of refraction from denser to rarer and from rarer to denser media to be explained with ray-diagrams. Total internal reflection, critical angle ; relation-ship between refractive index & critical angle Formation of mirages (in desert & polar regions).

**Prism :** Its refracting surfaces, refracting angle, Principal



**Section, Refraction through a prism, Ray diagram showing deviation by a prism. Deduction of the formula  $D = i_1 + i_2 - A$ . Idea of minimum deviation, experimental & graphical only.**

**Relation  $u = \frac{\sin(A+D)/2}{\sin A/2}$ , assuming that for minimum deviation**

**$i_1 = i_2$ ; Simple sums. Total reflection prism and its application in periscope.**

**Thin lenses : Their construction. Basic definitions—principal axis, principal foci, ray diagrams, showing image formation ;**

**Deduction of the formula  $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$  for both convex & concave**

**lenses. Different cases of image formation for both types of lenses. Power of lenses, definition only, correct location of images for extended objects at different positions by ray tracing using scale and graph paper.**

**Dispersion of light : Dispersion—as a phenomenon of breaking up of a composite light into different wave lengths—arrangements for the formation of impure and pure spectra—Different types of spectra—emission & absorption, line & continuous—discussion on a very elementary level.**

**Atmospheric refraction : The phenomenon only as applied to the rising & setting sun.**

**Photometry : Basic concepts—definitions of illumination, luminous intensity, brightness. Principle of photometry viz.  $\frac{P_1}{r_1^2} = \frac{P_2}{r_2^2}$ .**

**Optical Instruments : Camera, Simple and compound microscopes, astronomical telescope, binocular. (Simple construction as a combination of co-axial lenses and ray diagrams showing final image formation—no discussion on aberrations, resolving power etc. ; Deductions of the formulae for magnification not needed).**

**Human eye : Construction with simple ray diagram (physiological details to be avoided). Mention of accommodation & adaptation—Defects of vision myopia, hypermetropi—remedy to be discussed in an elementary way ; Simple sums on powers of spectacles for myopic & hypermetropic eyes :**

## MAGNETISM

**10 marks : Essay type—7, Short answer type—3**

**Magnet and its properties : Natural magnet, its directive property. Magnetic and non-magnetic substance. Permanent and temporary magnet.**

**Pole. Magnetic axis, magnetic length, magnetic meridian. Different types of magnet, Repulsion is a surer test of polarity.**



**Magnetic Induction :** Nature of polarity in induced magnet ; Induction precedes attraction.

**Magnetisation :** —(i) Different methods (ii) Magnetic saturation. Factors responsible for destruction or Weakening of magnetism. Magnetic keepers.

**Magnetic field :** Magnetic pole—strength, coulomb's law of force between two poles, permeability Unit magnetic pole, magnetic field, magnetic intensity or field strength at a point. Magnetic lines of force and their properties.

**Molecular theory of magnetism :** Molecular theory ; Magnetic permeability and susceptibility Dia, para and ferromagnetic substances. Examples.

Terrestrial magnetism

Magnetic elements.

**Definitions ;** Declination, Dip and Horizontal component of the earth's magnetic field ; their explanation—(Measurements not required).

## ELECTROSTATICS

10 marks : Essay type—7 ; Short answer type—3

**Introduction :** Electricity from friction, two types of electricity. Repulsion is a surer test of electrification. Explanation of charging by rubbing in the light of electron theory. Conductor and insulator, Gold leaf electroscope : Description and its uses for detection of charge and ascertaining the nature of charge.

**Electrostatic Induction :** Induction precedes attraction. Induction produces simultaneously two kinds of electricity of equal amounts.

**Distribution of charge on a conductor :** Charge resides on the outer surface of a conductor—Faraday's butterfly experiment, Biot's experiment. Electric Screening. Effect of curvature on surface density of charge.

**Action of points—**discharging action of points, spraying action of points, collecting action of points, lightning conductor.

**Electrostatic field and electric potential :** Coulomb's law of force between two point charges ; permittivity, e.s. unit of charge ; electric intensity ; Electric field due to a point charge. Electric lines of force, properties of lines of force. Potential at a point in the electric field ; Potential difference between two points : e.s.u. of potential, practical unit of potential. Potential of a charged conductor, potential of the earth, Relation between intensity and potential (qualitative).



**Capacitance and capacitors :** Capacitance of a conductor ; factors affecting capacitance of conductor ; capacitance of a spherical conductor. Capacitors : parallel plate capacitors and its capacitance. Unit of capacitance. Combination of capacitors in series and parallel. Types of capacitors Van de Graff generator.

## CURRENT ELECTRICITY

15 marks : Essay type—12, Short answer type—3

**Simple Voltaic cell :** Description, development of e. m. f. in the cell, action of cell, defects of cell, Daniell cell, Leclanche cell, dry cell.

**Secondary cell :** Lead-acid accumulator, construction ; Its e.m.f. when fully charged.

**Distinction between primary and secondary cells.** Ohm's law, volt, ampere and ohm : resistance, resistivity ; factors on which resistance of a conductor depends, combination of resistances in series and parallel. Equivalent resistance ; shunt. Internal resistance of cells, wheatstone Bridge : Relation between resistances of branches when the bridge is balanced. Its application to P. O. Box and metre bridge for the determination of unknown resistance.

**Heating effect of current :** Joule's law, Mechanical equivalent of heat and its determination by electrical method. Electrical energy, power, unit of power and energy, Board of trade unit of electrical energy.

**Thermo-electricity :** Seebeck and Peltier effect, thermo e.m.f. thermo-current, thermo-couple, Thermo e.m.f. depends on different of temp. of the two junctions of a thermo-couple and nature of the metals of thermo-couple.

**Chemical effect of current :** Electrolyte, electrolytic solution, ion, electrolysis, Faraday's laws of electrolysis, chemical and electrochemical equivalent, Faraday of charge, Determination of strength of current by the help of electrolysis. Practical application —Electroplating.

**Electro-magnetism :** Magnetic effect of current : (a) action of current on magnet. Determination of the direction of magnetic lines of force due to a current through a Straight conductor. Ampere's swimming rule, right-hand—thumb rule, Maxwell's cork —Screw-rule.

Magnetic lines of force due to a current through—(i) Straight conductor (ii) circular conductor (iii) Solenoid.

**Tangent galvanometer :** Emphasis should be on the fact that it illustrates the action of current on magnet rather than its use as an accurate current measuring Instrument.

(b) Action of magnet on current : Fundamental motor rule.

**Fleming's left hand rule, Barlow's wheel, D'Arsonval galvanometer construction, ammeter and voltmeter.**

(c) **Action of current on current. Illustration by Roget's vibrating spiral. Electromagnetic induction.**

**Magnetic Induction, Magnetic flux, flux density, Faraday's laws of induction, induced e.m.f. ; induced current ; Lenz's law of e.m. induction and its justification from the principle of conservation of energy.**

**Determination of the direction of induced current by Lenz's law. e.m.f. induced in a conductor moving in a magnetic field, Fleming's Right hand rule.**

**Alternating current : Idea of alternating current (qualitative discussion only). Elementary principles of dynamo and D.C. Motor.**

### MODERN PHYSICS

**15 marks : Essay type—12 ; Short answer type—3**

**Conduction of electricity through gases—phenomenological study, cathode rays and their principal properties, X-rays, discovery and properties ; nature of X-rays. Important practical applications.**

**Study of thermionic emission (Descriptive)**

**Vacuum tubes : Diode ; description, characteristic curve of a diode ; use of a diode as rectifier, half-wave and full-wave rectification.**

**Triode—construction, action of grid, plate and mutual characteristic curves ; principle of amplification—graphical explanation. Photo-electric phenomena—experimental demonstration ; photo-electric cell ; mention of its uses ; particle nature of radiation, elementary ideas of quantum theory (without details on the determination of planck's constant).**

**Bohr's model of atom—fundamental postulates (deduction of Bohr's formula is not wanted but explanation of transition with emission of absorption of radiation is to be mentioned).**

**Fundamental constituent of atom and their properties, importance of number of protons in atom principal constituents of nucleus ; atomic number, isotopes ; mass number.**

**Semi conductors : n-type and p-type, Semi conductor diode and their uses.**

**Radio activity : Its discovery, Alpha, Beta and Gamma rays and their principal properties. Radio-active decay law ; graphical representation only without deduction ; half life and decay constant. Radio-isotopes, artificial transmutation of elements with simple illustration. Mention of mass energy equivalence ; emission of absorption of energy to be mentioned. Nuclear fission and fusion : mention of their importance and uses (Details of chain reaction are to be avoided).**



# সূচীপত্র

## আলোকবিজ্ঞান

প্রথম পরিচ্ছেদ : আলোর স্বভাবের গতি

1-19

আলোর স্বরূপ 3, আলোকবিজ্ঞান সংক্রান্ত কয়েকটি ধারণা 3, আলো সরলপথে গমন করে 5, সূচীস্থিত ক্যামেরা 6, কয়েকটি প্রাসঙ্গিক প্রশ্ন 7, ছায়া 8, গ্রহণ 10, আলোর গতিবেগ 12, আলোকবর্ষ 13.

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : দীপ্তিমিতি

20-38

সূচনা 20, দীপ্তিমিতি সঙ্কীর কয়েকটি রাশি 20, দীপ্তিমিতি সঙ্কীর বিভিন্ন একক 22, বিন্দু উৎসের দ্বারা আলোকিত তলের দীপনমাত্রা 23, দীপ্তিমিতির মূলনীতি 24, দীপনমাপক যন্ত্র 24, সার-সংক্ষেপ 33.

তৃতীয় পরিচ্ছেদ : আলোর প্রতিফলন

39-73

আলোর প্রতিফলন 39, প্রতিফলন সঙ্কীর কয়েকটি সংজ্ঞা 40, আলোর প্রতিকলনের সূত্রাবলী 40, প্রতিফলনের সূত্রাবলীর পরিপ্রেক্ষিতে নিয়মিত এবং অনিয়মিত প্রতিফলন 40, প্রতিবিম্ব 41, সমতল দর্পণ কর্তৃক অসদ্বিষ গঠন 41, দুইটি দর্পণে ক্রমিক প্রতিফলন 43, ক্রমিক প্রতিফলনের প্রয়োগ 47, সমতল দর্পণে প্রতিফলন সংক্রান্ত কয়েকটি উপপাদ্য 48, বক্রতলে আলোর প্রতিফলন 53, গোলায় দর্পণ সম্পর্কিত কয়েকটি সংজ্ঞা 54, চিহ্ন সঙ্কীর রীতি 55, ব্যাসার্ধ ও ফোকাস দৈর্ঘ্যের সম্পর্ক 55, রাশি অনুসরণ পদ্ধতি দ্বারা প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয় 56, গোলায় দর্পণের সূত্র 58, বিবর্ধন 60, অনুবন্ধী বিন্দু বা অনুবন্ধী ফোকাস 60, প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়ে গ্রাফপেপার 61, গোলায় দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় 61, দর্পণের প্রকৃতি নির্ধারণের সহজ উপায় 64, গোলায় দর্পণের কয়েকটি ব্যবহার 64, সার-সংক্ষেপ 68.

চতুর্থ পরিচ্ছেদ : আলোর প্রতিসরণ

74-109

আলোর প্রতিসরণ 74, প্রতিসরণের সূত্রাবলী 75, সাপেক্ষ ও পরম প্রতিসরাঙ্ক 75, আলোর ঘনত্ব 76,  $\mu$  এবং  $\mu_1$ -এর সম্পর্ক 77, স্বচ্ছ সমান্তরাল ফলকে আলোর প্রতিসরণ 78, স্নেলের সাধারণ সূত্র 79, প্রতিসরণের ফলে বস্তুর আপাত উন্নতি 80, পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম 87, পূর্ণ প্রতিফলন-সংক্রান্ত কয়েকটি ঘটনা 88, মরীচিকা 91, প্রিজমের মধ্য দিয়া প্রতিসরণ 93, অবম বিচ্যুতির শর্ত 95, অবম বিচ্যুতি ও প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক 96, পাতলা প্রিজমের দ্বারা রাশির বিচ্যুতি 97, আপতন কোণের সীমাস্থ মান 99, প্রিজম কোণের সীমাস্থ মান 100, সার-সংক্ষেপ 101.

পঞ্চম পরিচ্ছেদ : লেন্স

110-153

লেন্স 110, লেন্স কর্তৃক আলোর প্রতিসরণ 111, লেন্স-সঙ্কীর কয়েকটি সংজ্ঞা 112, লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব এবং উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক



116, লেন্স কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন 117, চিত্রের রীতি 120, লেন্সের সাধারণ সূত্র 121, রৈখিক বিবর্ধন 123, লেন্সের সূত্র হইতে প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয় 123, বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানে লেন্স কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান এবং প্রকৃতি 126, গ্রাফ পেনার ব্যবহার করিয়া প্রতিবিম্ব-দূরত্ব নির্ণয় 126, বস্তু ও সন্নিবিষ্ট ন্যূনতম দূরত্ব 127, লেন্সের ক্ষমতা 129, লেন্সের প্রকৃতি বুঝিবার সহজ উপায় 130, উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় 130, অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় 134, প্রতিবিম্বের দুটি 141, গোলকাপেরণ 142, গোলকাপেরণের প্রতিবিধান 144, বর্ণাণেপ 145, সার-সংক্ষেপ 146.

154-173

### বস্তু পরিচ্ছেদ : আলোর বিচ্ছুরণ

আলোর বিচ্ছুরণ 154, প্রিজমের সাহায্যে সাদা আলোর বিচ্ছুরণ 154, সাদা আলোর যৌগিক প্রকৃতি 156, অবিশুদ্ধ ও বিশুদ্ধ বর্ণালী 157, বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবার পদ্ধতি 158, আলোর বর্ণ ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 159, বিভিন্ন প্রকার বর্ণালী 160, সৌর বর্ণালী এবং ফ্রাউনহোফার লাইন 161, বর্ণালী মাপক যন্ত্র 162, বায়ুমণ্ডলীয় প্রতিসরণ 163, বায়ুমণ্ডলে আলোর বিক্ষেপণ এবং কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনা 164, রামধনু 166, বিভিন্ন বস্তুর বর্ণ 169, সার-সংক্ষেপ 170.

174-187

### সপ্তম পরিচ্ছেদ : মানুষের চোখ

মানুষের চোখ 174, মানুষের চোখের সহিত ক্যামেরার তুলনা 178, দৃষ্টের দুটি ও উহাদের সংশোধন 179, সার-সংক্ষেপ 185.

188-208

### অষ্টম পরিচ্ছেদ : আলোকযন্ত্র

আলোকযন্ত্র 188, আলোকচিত্রগ্রাহী ক্যামেরা 188, দৃষ্টিসহায়ক যন্ত্র 190, বিবর্ধক লেন্স 190, অণুবীক্ষণ যন্ত্র 191, দূরবীক্ষণ যন্ত্র 196, সরল বাইনোকুলার বা অপেরা গ্লাস 205, প্রিজ্‌ম বাইনোকুলার 205, সার-সংক্ষেপ 206.

## চুম্বকত্ব

1-16

### প্রথম পরিচ্ছেদ : চুম্বকের ধর্ম

চুম্বকত্ব ও চুম্বক 3, বিভিন্ন কৃত্রিম চুম্বক 3, চুম্বকের সাধারণ ধর্ম 4, চুম্বক প্রভুতি 8, উপমেরু 11, চুম্বকের বিলোপ 12, সারসংক্ষেপ 14.

17-33

### দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : চৌম্বক ক্ষেত্র ও চৌম্বক বলরেখা

ক্ষেত্র 17, কুলম্বের সূত্র 17, একক মেরু 18, চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য 18, চৌম্বক বলরেখা 19, বলরেখার মানচিত্র অঙ্কন 21, একটি দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক 23, চুম্বকের দুই মেরু সমান শক্তিশালী 24, একটি দণ্ড-চুম্বকের নিকটবর্তী কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় 24, সার-সংক্ষেপ 29.



**তৃতীয় পরিচ্ছেদ : পদার্থের চৌম্বক ধর্ম**

34-48

বিচ্ছিন্ন চুম্বক মেবুর অস্তিত্ব নাই 34, চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব 34, চৌম্বক সম্পত্তি 37, চৌম্বক পদার্থের অণুগুলির চুম্বকত্বের কারণ 37, আধুনিক ডোমেন তত্ত্ব 38, চৌম্বক আবেশ রেখা 39, চৌম্বক ভেদ্যতা ও চৌম্বক প্রবণতা 40, চুম্বকত্ব-ধারণ-ক্ষমতা এবং নিগ্রহ-সহনশীলতা 41, চৌম্বক আচ্ছাদন 42, পরাচৌম্বক, তিরচৌম্বক ও অন্নচৌম্বক পদার্থ 43, সার-সংক্ষেপ 46.

**চতুর্থ পরিচ্ছেদ : ভূ-চুম্বকত্ব**

49-60

পৃথিবীর চৌম্বক প্রভাব 49, পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র-সম্বন্ধীয় মূলরাশি 50, ভূ-চুম্বকের প্রভাবে দণ্ড-চুম্বকের বলরেখার পরিবর্তন 53, নৌ-কম্পাস 54, চৌম্বক মানচিত্র 55, সমুদ্রের সহিত ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলির পরিবর্তন 57, সার-সংক্ষেপ 58.

**স্থিতি তড়িৎ**

61-83

**প্রথম পরিচ্ছেদ : তড়িৎ ও ইহার ধর্ম**

ধর্মণে বিদ্যুতের উৎপত্তি 63, ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ 63, তড়িৎের স্বরূপ 65, তড়িদাধান 66, ইলেকট্রন-তত্ত্বের আলোকে ধর্মণজাত তড়িৎের ব্যাখ্যা 67, পরিবাহী ও অপরিবাহী পদার্থ 67, পরিবহণ দ্বারা আহিত-করণ 68, পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র 69, স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র 69, আধান-পরীক্ষক 71, বৈদ্যুতিক আবেশ 71, ফ্যারাডের বরফ-পাত্র পরীক্ষা 74, আহিত পরিবাহীতে আধান পরিবাহীর পৃষ্ঠে অবস্থান করে 75, পরিবাহী-পৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব 77, সূক্ষ্মগ্র পরিবাহীর ক্রিয়া 78, তড়িৎ-বাত্যা 78, বজ্র নিবারক 79, সার-সংক্ষেপ 79.

84-110

**দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও তড়িৎ-বিভব**

দুইটি আধানের পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ : কুলম্বের সূত্র 84, তড়িদাধানের একক 85, তড়িৎ-ক্ষেত্র এবং ইহার প্রাবল্য 86, তড়িৎ বল-রেখা 90, তড়িৎ-বিভব 92, বিভব-বৈষম্য 93, বিভবের একক 94, স্থিতি-শক্তি ও বিভব 95, বিভবের সহিত উষ্ণতা ও তরল-পৃষ্ঠের উচ্চতার তুলনা 95, বিন্দু-আধানের তড়িৎ-ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে বিভবের মান 96, ভূমি-সংলগ্ন পরিবাহীর তড়িৎ-বিভব শূন্য 98, প্রাবল্য ও বিভবের পারস্পরিক সম্পর্ক 98, সমবিভব-তল 102, পরিবাহীর বিভব 103, সার-সংক্ষেপ 105.

111-133

**তৃতীয় পরিচ্ছেদ : ধারক ও ধারকত্ব**

ধারকত্ব 111, ধারকত্বের একক 111; পরিবাহীর ধারকত্বের নির্ধারক বিষয়সমূহ 112, গোলকের ধারকত্ব 112, সংযুক্ত পরিবাহীতে আধান বণ্টন 113, আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি 114, কণ্ডেনসর বা ধারকের মূলনীতি 116, ধারকত্ব-সংক্রান্ত একটি পরীক্ষা 117, গোলাকার ধারকের ধারকত্ব

118, দুইটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারক 119, মিশ্র দ্ব্যনুবিধিত সমান্তরাল পাত ধারকের ধারক 120, লিডেন জার 121, ধারকের সমবায় 122, পরিবর্তনীয় বাহু ধারক 124, সার-সংক্ষেপ 129.

চতুর্থ পরিচ্ছেদ : তড়িৎ-শক্তি

134-137

তড়িৎ-শক্তি 134, ইলেকট্রোফেরাস 134, ড্যান-দ্য-গ্রাফ জেনারেটর 136, সার-সংক্ষেপ 137.

### প্রবাহী তড়িৎ

প্রথম পরিচ্ছেদ : তড়িৎ-কোষ

139-161

সূচনা 141, তড়িৎ-প্রবাহ 141, তড়িৎ-কোষ আবিষ্কারের পূর্বকথা 142, আয়ন ও আয়ন বিচ্ছেদ 143, তড়িৎ-কোষের বিভব-বৈকল্য 143, সরল ভোল্টীয় কোষ 143, তড়িৎ-কোষের শক্তির উৎস 145, তড়িৎচালক বল ও বিভব-বৈকল্য 146, সরল ভোল্টীয় কোষের দুটি 147, প্রাথমিক কোষ 149, গৌণ কোষ বা সঞ্চারক কোষ 153, প্রমাণ কোষ 155, তড়িৎ-কোষ সম্বন্ধে কয়েকটি জ্ঞাতব্য 157, তড়িৎ-কোষের আয়ন সরবরাহের সামর্থ্য 157, প্রাথমিক কোষ এবং গৌণ কোষের পার্থক্য 158, তড়িৎ-প্রবাহের ক্রিয়া 158, সার-সংক্ষেপ 159.

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : ওহমের সূত্র

162-203

রোধ 162, ওহমের সূত্র 162, তড়িৎ-সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির একক 163, কোন পরিবাহীর রোধ ও অন্যান্য ভৌত ধর্ম 164, আপেক্ষিক রোধ 165, পরিবাহিতা 166, রোধের উচ্চতা-গুণাঙ্ক 169, তড়িৎ-প্রবাহ নিরন্তর যন্ত্রপাতি 171, ওহমের সূত্রের পরীক্ষাভিত্তিক প্রমাণ 175, ওহমের সূত্রের সীমাবদ্ধতা 176, কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ ও আভ্যন্তরীণ বিভব পতন 177, তুল্য রোধ 178, সমান্তরাল সমবাহে বৃত্ত বিভিন্ন রোধের প্রবাহমাত্রা 182, সার্ট 182, মিশ্র বর্তনীর তুল্য রোধ 184, তড়িৎ-কোষের সমবায় 184, সার-সংক্ষেপ 196.

তৃতীয় পরিচ্ছেদ : তড়িৎ-সংক্রান্ত পরিমাপ

204-218

রোধের পরিমাপ 204, দুইটেস্টান রিজ 204, পোস্ট অফিস বর 206, মিটার রিজ 208, পোটেন্সিওমিটার 209, সার-সংক্ষেপ 215

চতুর্থ পরিচ্ছেদ : তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল

219-254

জুলের সূত্র 219, জুলের সূত্রের তাত্ত্বিক ব্যাখ্যা 219, জুলের সূত্রের সত্যতা নিরূপণ 220, বৈদ্যুতিক পদ্ধতিতে তাপের ব্যাপ্তিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় 222, বৈদ্যুতিক শক্তি ও বৈদ্যুতিক ক্ষমতা 223, শক্তির একক 224, তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগ 225, ব্যাডার তড়িৎ-সংযোগ ব্যবস্থা 227, কয়েকটি প্রাসঙ্গিক প্রশ্ন 228, তাপ-তড়িৎ 236, উচ্চতার ব্যবধানের সহিত তাপ-তড়িৎচালক বলের সম্পর্ক 237, পেলুতিয়ে প্রক্রিয়া 239, পেলুতিয়ে প্রক্রিয়া এবং জুলের প্রক্রিয়ার পার্থক্য 239, জীবক প্রক্রিয়া এবং পেলুতিয়ে প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা 241, টেমসন প্রক্রিয়া 243, তাপ-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যবহারিক প্রয়োগ 246, সার-সংক্ষেপ 247.



**পঞ্চম পরিচ্ছেদ : তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া**

সূচনা 255, কয়েকটি প্রয়োজনীয় ধারণা ( আয়নায়ন ও আয়ন, তড়িৎ-বিপ্লব, তড়িৎ-অবিপ্লব, তড়িৎ-বিপ্লবণ, তড়িৎ-বিপ্লবক কোষ, ক্যাথোড, অ্যানোড ) 255, তড়িৎ-বিপ্লবণের কয়েকটি উদাহরণ 257, ফ্যারাডের তড়িৎ-বিপ্লবণ সঙ্ক্রান্ত সূত্রাবলী 259, তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সম্পর্ক 261, ফ্যারাডের সূত্রাবলীর পরীক্ষাভিত্তিক প্রমাণ 262, ফ্যারাডে 264; তড়িৎ-বিপ্লবণের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় 264. তড়িৎ-বিপ্লবণের ব্যবহারিক প্রয়োগ 265, কয়েকটি প্রাসঙ্গিক প্রশ্ন 267, সার-সংক্ষেপ 273

**ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ : তড়িৎ ও চুম্বকের পারস্পরিক ক্রিয়া**

ওররস্টেডের আবিষ্কার 278, ওররস্টেডের সূত্র 279, অ্যাম্পিয়রের সম্ভরণ সূত্র 279, তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র 279, ল্যাম্পাসের সূত্র 280, বৃত্তাকার তড়িৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র 282, চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত তড়িৎবাহী তারের উপর ক্রিয়াশীল বল 283, স্কলেনরেড 285, দ্য লা রিভের ভাসমান কোষ 285, তড়িৎ-প্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া 286, চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী তারের ঘূর্ণন 288, বার্লোর চক্র 289, দুইটি তড়িৎ-প্রবাহের পারস্পরিক ক্রিয়া 290, রোজের কম্পমান স্প্রিং 291, গ্যালভানো-স্কোপ 291, গ্যালভানোমিটার 292, দারসোভাল গ্যালভানোমিটার 297, টেব্লে গ্যালভানোমিটার বা সুবহুসূচক গ্যালভানোমিটার 300, চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার এবং চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটারের তুলনা 301, অ্যাম্মিটার 302, ভোল্টামিটার 303, বর্তনীতে অ্যাম্মিটার ও ভোল্টামিটারের ব্যবহার পদ্ধতি 304, সার-সংক্ষেপ 311

**সপ্তম পরিচ্ছেদ : তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ**

সূচনা 319, তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ-সঙ্ক্রান্ত পরীক্ষা 319, তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের সূত্র 323, লেন্সের সূত্র ও শক্তির সংরক্ষণ সূত্র 324, আবেশ 325, পারস্পরিক আবেশ 326, হুমকাফের আবেশ কুণ্ডলী 327, ফ্রেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত সূত্র 330, পরিবর্তী প্রবাহ জেনারেটরের কার্যনীতি 330, পরিবর্তী প্রবাহ জেনারেটর 332, সমপ্রবাহ জেনারেটর বা ডায়নামো 333, বৈদ্যুতিক জেনারেটরের শক্তির উৎস 334, বৈদ্যুতিক মোটর 335, সার-সংক্ষেপ 335

**আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান****প্রথম পরিচ্ছেদ : গ্যাসের তড়িৎ-পরিবাহিতা, ক্যাথোড-রশ্মি ও এক্স-রশ্মি**

সূচনা 3, গ্যাসের তড়িৎ-পরিবাহিতা 3, নিম্নচাপে গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ 4, ক্যাথোড-রশ্মির ধর্ম 7, ইলেকট্রনের আধান, ভর এবং শক্তি : ইলেকট্রন ভোল্ট 11, এক্স-রশ্মি 13. এক্স-রশ্মির উৎপাদন 14, এক্স-রশ্মির ধর্মাবলী 17, এক্স-রশ্মি এবং ক্যাথোড-রশ্মির পার্থক্য 18, এক্স-রশ্মির ব্যবহারিক প্রয়োগ 19, সার-সংক্ষেপ 20

**দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : ইলেকট্রনিকস্**

তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ 24, ডায়োড বা দুই তড়িদ্বারযুক্ত ভাল্ভ 26,

স্পেস চার্জ এবং উচ্চতা-সীমিত প্রবাহ 26, ডায়োড-বৈশিষ্ট্য লেখ 27, ডায়োডের দ্বারা একমুখীকরণ 29, পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ 30, ডায়োডের ব্যবহার 32, ট্রায়োড 32, ট্রায়োডের স্থৈতিক বৈশিষ্ট্য লেখসমূহ 33, ট্রায়োডের প্রাচলসমূহ 36, বিবৰ্ধক হিসাবে ট্রায়োড 37, রেডিওর মূলনীতি 40, বেতার-তরঙ্গ প্রেরণ-ব্যবস্থা 40, রেডিও বা বেতার গ্রাহক-যন্ত্র 42, বেতার তরঙ্গের বিস্তার 42, সার-সংক্ষেপ 44

**তৃতীয় পরিচ্ছেদ : আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া ও কোয়ান্টাম মতবাদ**

49-63

সূচনা 49, আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার আবিষ্কার 49, আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া প্রদর্শন 50, আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া ব্যাখ্যায় তরঙ্গ মতবাদের ব্যর্থতা 52, কোয়ান্টাম মতবাদের প্রাথমিক ধারণা 52, আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা 53, আলোক-তড়িৎ-কোষ 54, আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যবহার 55, সার-সংক্ষেপ 59

**চতুর্থ পরিচ্ছেদ : পরমাণুর গঠন ও পারমাণবিক ভর**

64-82

সূচনা 64, রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল 64, বোরের পরমাণু মডেল 65, পজিটিভ রশ্মি 71, টমসনের ধনাত্মক রশ্মি বিশ্লেষণের অধিবৃত্ত পদ্ধতি 71, পরমাণুর মৌলিক উপাদান 72, পরমাণুর গঠন 73, একস্থানিক বা আইসোটোপ 75, কেন্দ্রকের গঠন 76, কোন মৌলের বিভিন্ন আইসোটোপের গঠনের পার্থক্য 78, নিউক্লীয় আকর্ষণী বলের প্রকৃতি 79, সার-সংক্ষেপ 80

**পঞ্চম পরিচ্ছেদ : তেজস্ক্রিয়া ও কৃত্রিম মৌলান্তর**

83-104

তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার 83, তেজস্ক্রিয় রশ্মির স্বরূপ 84, তেজস্ক্রিয় রশ্মি-সমূহের ধর্মাবলী 86, তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্য 88, ভাঙন-ধুবক ও অর্ধ-জীবনকাল 89, কয়েকটি প্রাসঙ্গিক প্রশ্ন 92, কৃত্রিম মৌলান্তর 94, নিউট্রন আবিষ্কার 95, পজিট্রন আবিষ্কার 97, কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়া 97, রেডিও আইসোটোপ ও ইহাদের ব্যবহার 98, সার-সংক্ষেপ 99

**ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ : কেন্দ্রক বিভাজন ও কেন্দ্রক সংযোজন**

105-116

কেন্দ্রক বিভাজন 105, কেন্দ্রক বিভাজনের ব্যাখ্যা 107, শৃঙ্খল বিক্রিয়া 108, ভর ও শক্তির তুল্যতা 109, পারমাণবিক ভর একক 110, মৌল কণার শক্তির পরিমাপের প্রচলিত একক—ইলেকট্রন-ভোল্ট 111, কেন্দ্রক বিভাজনে উদ্ভূত শক্তির পরিমাণ 112, কেন্দ্রকের সংযোজন 112, সার-সংক্ষেপ 114

**সপ্তম পরিচ্ছেদ : অর্ধ-পরিবাহী ডায়োড ও ট্রানজিস্টর**

117-125

সেমিকন্ডাক্টর বা অপরিবাহী 117, অর্ধপরিবাহী ডায়োড 120, ট্রানজিস্টর 122, অর্ধপরিবাহী ডায়োড ও ট্রানজিস্টরের সুবিধা 124, সার-সংক্ষেপ 124.

**পরিশিষ্ট**

126

উচ্চ মাধ্যমিক পরীক্ষার প্রশ্নপত্র

133

( পশ্চিমবঙ্গ ও ত্রিপুরা )

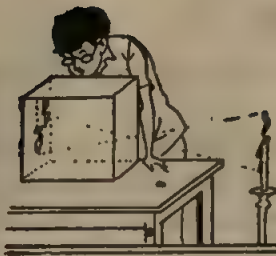




## আলোকবিজ্ঞান

*We should render thanks to God for having produced this temporal light, which is the smile of heaven and the joy of the world, spreading it like a cloth of gold over the face of the air and earth, and lighting it as a torch, by which we may behold his works.*

—Caussin



## আলোর স্বভাবের গতি

*Hail ! holy light, offspring of heaven, first born !*

—Milton

### 1.1 আলোর স্বরূপ

শক্তির বিভিন্ন রূপ আছে, আলো উহাদের অন্যতম। আলোর সহিত আমাদের আজন্ম পরিচয়। আলো আছে বলিয়াই বিশ্বে এত রঙ, এত রূপ। আলোর প্রকৃতি সম্পর্কে প্রাচীনকাল হইতেই দার্শনিক এবং বিজ্ঞানীরা নানান চিন্তাভাবনা করিয়া আসিতেছেন। কিন্তু আলোর প্রকৃতি বহুকাল বিজ্ঞানীদের কাছে দুর্বোধ্য এবং রহস্যাবৃত ছিল। বর্তমান বিজ্ঞানীরাও ইহার স্বরূপ সন্মতভাবে জানান এ কথাও নির্দিষ্ট বলি যায় না।

আলোর স্বরূপ অনুধাবনে পদার্থবিদরা নানা অসুবিধার সম্মুখীন হইয়াছেন। বিখ্যাত বিজ্ঞানী নিউটন আলো-কে কণাধর্মী-রূপে বর্ণনা করেন। তাঁহার মতবাদ অনুসারে, এক কণিক শক্তি-কণা পরপর সম্মিলিত হইয়া সৃষ্টি করে এক-একটি আলোককণিকা। নিউটনের এই মতবাদকে আলোর কণিকা-বাদ (corpuscular theory of light) বলা হয়। কিন্তু কণিকা-বাদ আলো-সঞ্চালনের অনেক পরীক্ষার ফলাফল ব্যাখ্যা করিতে পারে না। পরবর্তী কালে হরগেল, ফ্রেনেল, ক্রিস্টিয়ান প্রমুখ পদার্থবিদগণ আলো-কে তরঙ্গধর্মী রূপে বর্ণনা করিয়াছেন। কিন্তু তরঙ্গ মতবাদেও আলোর সকল ধর্মের সূত্র ব্যাখ্যা মিলিল না। আধুনিক মতবাদ অনুসারে আলো একাধারে তরঙ্গ ও কণিকা। তরঙ্গবাদ ও কণাবাদের সমন্বয়ে উদ্ভূত হইয়াছে তরঙ্গিক মতবাদ (Dual theory of light)।

### 1.2 আলোকবিশ্তার-সংক্রান্ত কয়েকটি শব্দগণা

(a) আলোক-মাধ্যম (Optical medium) : যে মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলোক সঞ্চারিত হয় তাহাকে আলোক-মাধ্যম বলা হয়। এই মাধ্যম পদার্থ-মাধ্যমও হইতে পারে, শূন্য স্থানও হইতে পারে, কেননা আলো শূন্যস্থানের মধ্য দিয়াও সঞ্চারিত হইতে পারে। আলোক-মাধ্যমকে তিনটি ভাগে বিভক্ত করা যায়। যথা—প্রচ্ছন্ন মাধ্যম (transparent medium), ঈষৎচ্ছন্ন মাধ্যম (translucent medium) এবং অপ্রচ্ছন্ন মাধ্যম (opaque medium)।

প্রচ্ছন্ন মাধ্যম : যে-সকল মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলো অতি সহজেই বাইতে পারে উহাকেই প্রচ্ছন্ন মাধ্যম বলা হয়। অর্থাৎ, যে-মাধ্যমের মধ্য দিয়া সঞ্চারনের সময় আলো



কার্যত শোষিত হয় না উহাকে স্বচ্ছ মাধ্যম বলা হয়। বায়ু, কাচ, জল ইত্যাদি স্বচ্ছ মাধ্যমের দৃষ্টান্ত।

**ঐষদৃচ্ছ মাধ্যম :** যে-সকল মাধ্যম দিয়া আলো আংশিকভাবে বাইতে পারে তাহাদিগকে ঐষদৃচ্ছ মাধ্যম বলে। অর্থাৎ, যে-মাধ্যমের মধ্য দিয়া যাইবার সময় আলো ঐ মাধ্যম কর্তৃক আংশিকভাবে শোষিত হয় উহাকে ঐষদৃচ্ছ মাধ্যম বলা হয়। যথা—তৈলাক্ত কাগজ, ঘষা কাচ ইত্যাদি।

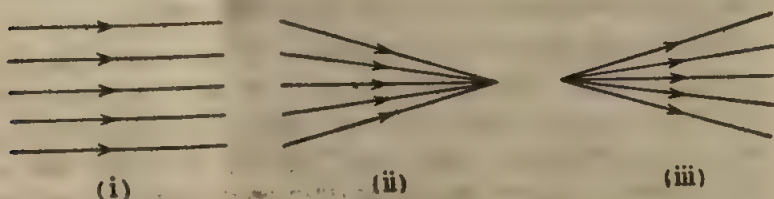
**অস্বচ্ছ মাধ্যম :** যে-মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলো বাইতে পারে না তাহাদিগকে অস্বচ্ছ মাধ্যম বলা হয়। অর্থাৎ, যে-মাধ্যমের মধ্য দিয়া সঞ্চারনের সময় আলো কার্যত সম্পূর্ণভাবে শোষিত হইয়া যায় তাহাকে অস্বচ্ছ মাধ্যম বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ ইট, পাথর, মাটি, লোহা ইত্যাদি উল্লেখ্য।

**সমসত্ত্ব মাধ্যম (Homogeneous medium) :** যে-মাধ্যমের সকল অংশের ভৌত গুণাবলী অভিন্ন তাহাকে বলা হয় সমসত্ত্ব মাধ্যম। আর, যে-মাধ্যমের সকল অংশের ভৌত গুণাবলী অভিন্ন নয় তাহাকে অসমসত্ত্ব (heterogeneous) মাধ্যম বলা হয়।

(b) আলোক-রশ্মি ও রশ্মিগুচ্ছ : আলো সমসত্ত্ব মাধ্যমের মধ্য দিয়া সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলে। প্রকৃতপক্ষে আলোর গতিপথ সম্পূর্ণ সরলরেখায় নয়। আলোর তরঙ্গধর্মের জন্য ইহা বাধার পাশ দিয়া বাঁকিয়া বাইতে পারে। আলোর এই ধর্মের নাম অপবর্তন (diffraction)। জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানে আমরা সরলরেখা হইতে আলোর এই বিচ্যুতি উপেক্ষা করিব। আলোক-উৎস হইতে নির্দিষ্ট দিকে আলোর গমন-পথকে একটি সরলরেখার সাহায্যে দেখান যাইতে পারে। এইরূপ সরলরেখাকে আলোক-রশ্মি বলা হয়।

কতকগুলি আলোক-রশ্মির সমন্বয়ে একটি রশ্মিগুচ্ছ (beam of light) সৃষ্ট হয়। রশ্মিগুচ্ছ তিন প্রকার। যথা—(i) সমান্তরাল (parallel), (ii) অভিসারী (convergent) এবং (iii) অপসারী (divergent)।

যে-রশ্মিগুচ্ছ আলোক-রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল থাকে তাহাকে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বলে। অসীম দূরত্বে অবস্থিত আলোক-উৎস হইতে আগত আলোক-রশ্মিগুচ্ছ সমান্তরাল হয় [ চিত্র 1.1 (i) ]।



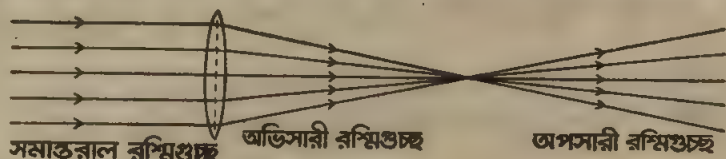
চিত্র 1.1

যে-রশ্মিগুচ্ছের আলোক-রশ্মিগুলি একে অপরের দিকে আগাইয়া আসে এবং সম্মুখের একটি বিন্দুতে মিলিত হয়, তাহাকে অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ বলে [ চিত্র 1.1 (ii) ]।

যে-রশ্মিগুচ্ছের আলোক-রশ্মিগুলি একে অপর হইতে দূরে সরিয়া বাইতে থাকে

তাহাকে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ বলে [ চিত্র 1.1 (iii) ]। এইরূপ গুচ্ছের রশ্মিগুলিকে পশ্চাদ্দিকে বঁধিত করিলে উহারা একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। বিন্দু-উৎস হইতে সর্বদা অপসারী রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হয়।

লেলে প্রতিসৃত হইয়া বা দপণে প্রতিফলিত হইয়া এক প্রকার রশ্মিগুচ্ছ অন্য প্রকার রশ্মিগুচ্ছে রূপান্তরিত হইতে পারে। 1.2 নং চিত্রে এইরূপ দৃষ্টান্ত দেখান হইয়াছে। চিত্রে দেখান হইয়াছে যে, একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ একটি উত্তল লেনে আপতিত হইয়া



চিত্র 1.2

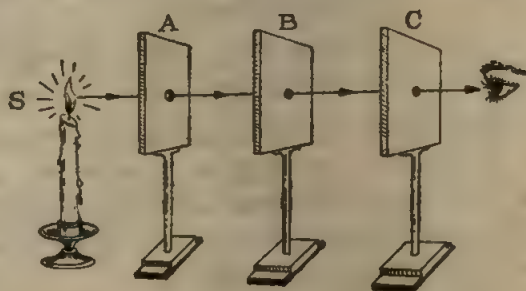
অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে রূপান্তরিত হয়। একটি বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হইবার পর ইহা অপসারী রশ্মিগুচ্ছ রূপে ঐ বিন্দু হইতে অপসৃত হয়। কাজেই দেখা যাইতেছে যে, একই রশ্মিগুচ্ছ কখনো সমান্তরাল, কখনো অভিসারী এবং কখনো অপসারী হইতে পারে।

### 1.3 আলো সমলপথে গমন কক্বে

সমস্ত্র মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলো সর্বদা সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলে। আলো-যে সরলপথে গমন করে তাহা নিম্নের পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়।

1.3 নং চিত্রে A, B ও C তিনটি কার্ডবোর্ড। উহাদের মাঝখানে একটি করিয়া ছোট ছিদ্র রহিয়াছে। এই তিনটি কার্ডবোর্ড এমনভাবে দাঁড় করান আছে যাহাতে ছিদ্র তিনটি একই উচ্চতায় থাকে। ছিদ্রগুলির মধ্য দিয়া একটি সূতা প্রবেশ করাইয়া সূতাটি টান করিয়া ধরিয়া সহজেই ছিদ্রগুলিকে একটি সরলরেখায় আনা যায়। এইরূপে

ছিদ্রগুলিকে এক সরলরেখায় আনিয়া A বোর্ডের ছিদ্রটির সম্মুখে একটি জ্বলন্ত মোম-বাতির শিখা রাখা হইল। এইবার C বোর্ডের ছিদ্রের সম্মুখে চোখ রাখিলে শিখাটিকে দেখা যাইবে (চিত্র 1.3)। এইবার যেকোন একটি কার্ডবোর্ডকে সামান্য সরাইলে ছিদ্রগুলি আর এক



চিত্র 1.3

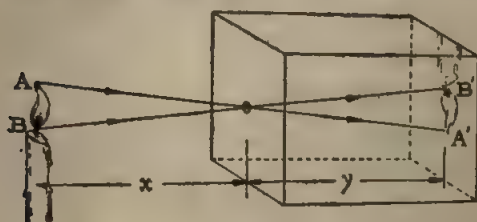
সরলরেখায় থাকিবে না। তখন মোমবাতির শিখাটি আর দেখা যাইবে না। আলো যদি বাঁকা পথে যাইতে পারিত তবে ছিদ্রগুলি এক সরলরেখায় না থাকিলেও মোমবাতির শিখাটিকে কার্ডবোর্ডের অপর পার্শ্ব হইতে দেখা যাইত। অতএব, এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হইল যে, আলো সরলরেখায় গমন করে।



## 1.4 সূচীছিদ্র ক্যামেরা

আলোর স্বভাবগতি কাজে লাগাইয়া একটি সরল ক্যামেরা তৈয়ারী করা যায়। একটি আলমতাকার বাজের এক পৃষ্ঠ একটি সূচীছিদ্র করিয়া উহার বিপরীত পার্শ্বে একটি ঘবা কাচের পর্দা লাগান হইল। কাচের পর্দাটি ছাড়া বাজটির অপর সকল পৃষ্ঠ কালো রঙের প্রলেপ দেওয়া হইল। এই বাজের সূচীছিদ্রের সম্মুখে কোন বস্তুকে রাখিলে অপর পার্শ্বের ঘবা কাচের পর্দার বস্তুটির প্রতিচ্ছবি সৃষ্ট হয়। ক্যামেরার অনুরূপ এই ব্যবস্থার সাহায্যেও বস্তুর প্রতিচ্ছবি গঠিত হয় বলিয়া ইহাকে সূচীছিদ্র ক্যামেরা বলা হয়।

সূচীছিদ্রের সম্মুখে একটি জ্বলন্ত মোমবাতি রাখা হইল (চিত্র 1.4)। A-বিন্দু হইতে আলোক-রশ্মি ছিদ্রের মধ্য দিয়া সরলপথে ঘবা কাচের পর্দায় A' বিন্দুতে গিয়া পড়িবে



চিত্র 1.4

এবং ঐ বিন্দুতে A-বিন্দুর প্রতিচ্ছবি সৃষ্ট হইবে। তদুপ, B-বিন্দু হইতে আগত আলোক-রশ্মি সরলপথে BB' পথে যাইয়া পর্দার B'-বিন্দুতে পড়িয়া ঐ স্থানে B-বিন্দুর প্রতিচ্ছবি সৃষ্ট করিবে। অতএব, ঘবা কাচের পর্দায় মোমবাতি AB-

এর একটি অবশীর্ষ (inverted) বিব বা প্রতিচ্ছবি গঠিত হইবে। কাচের পর্দার অবশীর্ষ প্রতিচ্ছবির সৃষ্টি আলোর স্বভাবগতির প্রমাণ করে। ঘবা কাচের পর্দাকে সরাইয়া ঐ স্থানে কটোগ্রাফিক প্লেট (photographic plate) রাখিয়া এই ব্যবস্থার সাহায্যে আলোক-চিত্র তোলা যায়।

সূচীছিদ্র হইতে মোমবাতি এবং পর্দার দূরত্ব যথাক্রমে  $x$  এবং  $y$  হইলে লেখা যায়,

$$AB/A'B' = x/y \quad (\text{চিত্র 1.4 হইতে})$$

$$\text{অর্থাৎ, } \frac{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য}}{\text{প্রতিচ্ছবির দৈর্ঘ্য}} = \frac{\text{সূচীছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব}}{\text{সূচীছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব}}$$

ছিদ্রটি যদি আকারে বড় হয় তবে প্রতিচ্ছবি অস্পষ্ট হইয়া যাইবে। ইহার কারণ সহজেই বুঝা যায়। বড় ছিদ্রকে কতকগুলি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ছিদ্রের সমষ্টি হিসাবে কল্পনা করা যায়। উহাদের প্রতিটির জন্য একটি করিয়া প্রতিচ্ছবি গঠিত হয়। এই প্রতিচ্ছবিগুলি পরস্পরের উপর সমাপতিত হয় না। ইহারা পার্শ্বসরণ লইয়া একে অন্যের উপর পড়ে বলিয়া প্রতিচ্ছবিটি অস্পষ্ট হইয়া যায়।

সূচীছিদ্র ক্যামেরার গঠিত প্রতিচ্ছবির নিম্নোক্ত বৈশিষ্ট্যগুলি লক্ষণীয় :

- (i) প্রতিচ্ছবি অবশীর্ষ হইবে। (ii) সূচীছিদ্র বড় হইলে প্রতিচ্ছবি অস্পষ্ট হইবে। (iii) সূচীছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব বাড়িলে প্রতিচ্ছবি ছোট হইবে, বস্তুটি ছিদ্রের কাছে আসিলে প্রতিচ্ছবি বড় হইবে। (iv) ঘবা-কাচের পর্দাটি সূচীছিদ্র হইতে যত দূরে থাকিবে প্রতিচ্ছবিও তত বড় হইবে।

## ● সূচীছিন্ন ক্যামেরা এবং আলোর সরল-রৈখিক গতি :

আলো বখন কোন অস্ফুট বস্তুতে বাধা পায় তখন ঐ অস্ফুট বস্তুর ছায়া গঠন করে। এই ছায়া গঠনকে আলোর সরল-রৈখিক গতির প্রমাণ হিসাবে ধরা যায়। সূচীছিন্ন ক্যামেরায় কোন বস্তুর উন্টান বিষ বা প্রতিফলিত গঠনও আলোর সরল-রৈখিক গতির প্রত্যক্ষ প্রমাণ। ইহা ছাড়া, সূচীছিন্ন ক্যামেরার সাহায্যে পরীক্ষা করিয়া দেখা যায় যে,

$$\frac{\text{বস্তুর উচ্চতা}}{\text{ছিন্ন হইতে বস্তুর দূরত্ব}} = \frac{\text{বিষের উচ্চতা}}{\text{ছিন্ন হইতে বিষের দূরত্ব}}$$

আলোক-রশ্মি সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলে এই স্বীকারের ভিত্তিতেই উপরের সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করা যায়। আলো বহুপথে চলিলে বস্তুর আকার এবং সূচীছিন্ন ক্যামেরায় গঠিত প্রতিফলিতর আকারের মধ্যে উপরের সম্পর্কটির ব্যাখ্যা পাওয়া যাইত না। সূচীছিন্ন ক্যামেরায় কোন স্বপ্রভ বস্তুর প্রতিফলিত সর্বদাই ঐ বস্তুর সদৃশ হয়। আলো সকল দিকে সরলরেখা অবলম্বন করিয়া না চলিলে ইহা সম্ভবপর হইত না।

সুতরাং, সূচীছিন্ন ক্যামেরায় গঠিত প্রতিফলিতর প্রকৃতি ও আকার হইতে আলোর সরলরৈখিক গতির প্রমাণ পাওয়া যায়।

## 1.5 কয়েকটি প্রাসঙ্গিক প্রশ্ন

(a) ছোট একটি ছিন্নের মধ্য দিয়া সূর্যালোক প্রবেশ করিতে দিয়া-সূর্যগ্রহণ দেখা যায়, কিন্তু ছিন্নটি যদি আকারে বড় হয় তাহা হইলে এই প্রমাণ ব্যর্থ হয়। ইহার কারণ কী?

ছোট ছিন্নের মধ্য দিয়া কোন ঘরে সূর্যালোক প্রবেশ করিলে সূচীছিন্ন ক্যামেরায় নীতিতে দেওয়াল কিংবা মেঝেতে সূর্যের প্রতিফলিত গঠিত হইবে। সূর্য-বলয়ের একাংশ গ্রহণ-কবালিত হইলে প্রতিফলিততেও ঐ অংশ অন্ধকারাচ্ছন্ন থাকিবে। অর্থাৎ, ছোট ছিন্নের মধ্য দিয়া ঘরে সূর্যালোক প্রবেশ করিলে, ঘরের দেওয়াল বা মেঝেতে গঠিত সূর্যের প্রতিফলিততেও সূর্যগ্রহণ দেখা যাইবে।

ছিন্ন বড় হইলে উহাকে অনেকগুলি ছোট ছোট ছিন্নের সমষ্টি হিসাবে কল্পনা করা যায়। ইহাদের প্রতিটির জন্যই সূর্যের প্রতিফলিত গঠিত হইবে, কিন্তু এই প্রতিফলিতগুলি একই স্থানে গঠিত হইবে না। প্রতিফলিতগুলি পার্শ্বসরণ লইয়া একে অন্যের উপর পড়ে বলিয়া ইহাদের উপরিপাতের ফলে উৎপন্ন প্রতিফলিততে গ্রহণ-কবালিত সূর্যের আদল চোখে পড়িবে না।

(ii) কোন ক্ষুদ্র চিহ্নাকার ছিন্নের মধ্য দিয়া কোন ঘরে সূর্যালোক-প্রবেশ করিলে বিপরীত দেওয়ালে বৃত্তাকার বা উপবৃত্তাকার আলোকিত অংশ দেখা যায় কেন?

এক্ষেত্রে সূচীছিন্ন ক্যামেরায় নীতিতে ঘরের দেওয়ালে সূর্যের প্রতিফলিত গঠিত হইবে। ছিন্ন আকারে ছোট হইলে সূচীছিন্ন ক্যামেরায় গঠিত প্রতিফলিত ছিন্নের আকারের উপর নির্ভর করে না, কেবলমাত্র বস্তুর আকারের উপর নির্ভর করে। সূর্য বৃত্তাকার বলিয়া এক্ষেত্রে ছিন্নের মধ্য দিয়া শব্দ-আকারের আলোক-রশ্মিগুহ ঘরে প্রবেশ করিবে এবং দেওয়ালে বৃত্তাকার কিংবা উপবৃত্তাকার আলোক-পটি (light-patch) গঠন করিবে।



## 1.6 ছায়া (Shadow)

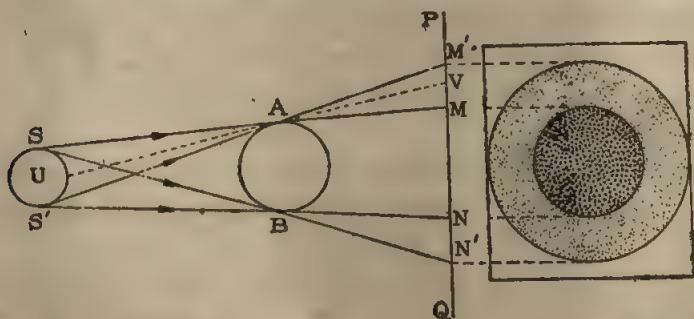
আলো অস্বচ্ছ মাধ্যমের মধ্য দিয়ে চলিতে পারে না ; তাই আলোক-উৎসের সম্মুখে কোন অস্বচ্ছ বস্তু থাকিলে উহার পশ্চাতে অন্ধকারময় স্থানের সৃষ্টি হয়, ঐ অন্ধকারময় স্থানটিকে ছায়া বলা হয়। ছায়ার উৎপত্তি হইতেই প্রমাণ হয় যে, আলো সরলরেখায় গমন করে। কখনও কখনও দেখা যায়, ছায়ার একটি অংশ সম্পূর্ণ অন্ধকার, অপর অংশ আংশিক অন্ধকার। ছায়ার সম্পূর্ণ অন্ধকার অংশকে প্রচ্ছায়া (umbra) এবং আংশিক অন্ধকার অংশকে উপচ্ছায়া (penumbra) বলে। ছায়ার আকৃতি ও প্রকৃতি আলোক-উৎস, অস্বচ্ছ বস্তুর আকার এবং পর্দার অবস্থানের উপর নির্ভরশীল।

(i) বিন্দু-বৎ আলোক-উৎস এবং গোলাকার অস্বচ্ছ বস্তু : মনে করি, O একটি বিন্দু-বৎ আলোক-উৎস এবং AB একটি অস্বচ্ছ গোলাক (চিত্র 1.5)। এই গোলাকের পশ্চাতে একটি পর্দা S বসান আছে। আলো সরলরেখায় চলে বলিয়া CD-অংশে কোন আলো আসিতে পারে না। ফলে ঐ অংশ সম্পূর্ণ অন্ধকারাচ্ছন্ন হইবে। এই অন্ধকারময় স্থানকে প্রচ্ছায়া বলে। বিন্দু-উৎস O হইতে পর্দা S-এর দূরত্ব (y) স্থির রাখিয়া উৎস হইতে AB বস্তুর দূরত্ব (x) বাড়াইলে প্রচ্ছায়া CD আকারে ছোট হয়। আবার, x স্থির রাখিয়া পর্দাটি উৎস হইতে দূরে সরাইলে (অর্থাৎ, y-এর মান বাড়াইলে) প্রচ্ছায়া আকারে বড় হয়।

চিত্র 1.5

(y) স্থির রাখিয়া উৎস হইতে AB

(ii) বিস্তৃত আলোক-উৎস ও বৃহত্তর অস্বচ্ছ বস্তু : আলোক-উৎস যদি অস্বচ্ছ বস্তু অপেক্ষা আকারে ছোট হয় তবে পর্দায় দুই প্রকারের ছায়া পড়ে (চিত্র 1.6)। SS' একটি বিস্তৃত আলোক-উৎস এবং AB এক অস্বচ্ছ গোলাক।



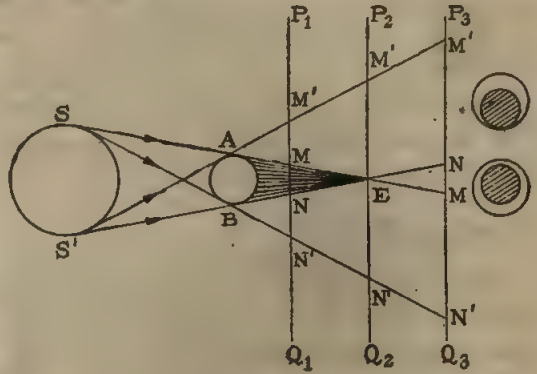
চিত্র 1.6

উৎসের S-বিন্দু হইতে নির্গত আলোক-শব্দ AB-বস্তুতে বাধাপ্রাপ্ত হইয়া পর্দা PQ-এর MN' অংশে ছায়ার সৃষ্টি করে। পুনরায়, S'-বিন্দু হইতে নির্গত আলোক-শব্দ

অবচ্ছ বস্তুটিতে বাধাপ্রাপ্ত হইয়া  $M'N$  অংশে ছায়ার সৃষ্টি করে। লক্ষ্য কর যে, পর্দার  $MN$  অংশে আলোক-উৎসের কোন স্থান হইতেই আলো পৌঁছাইবে না। ফলে এই অংশে প্রচ্ছায়ার সৃষ্টি হইবে। কিন্তু পর্দার  $M'M$  এবং  $N'N$  অংশে আলোক-উৎসের কিছু অংশ হইতে আলো আসিয়া পৌঁছায়, সেইজন্য ঐ স্থানের অন্ধকার খুব গাঢ় হইতে পারে না। ফলে ঐ অংশে বলসাকৃতি উপচ্ছায়ার সৃষ্টি হয়।

উপচ্ছায়া অঞ্চলের কোন স্থান হইতে আলোক-উৎসের দিকে তাকাইলে সম্পূর্ণ উৎস দেখা যায় না, ইহার একটি অংশ মাত্র দৃষ্টিগোচর হয়। উদাহরণস্বরূপ, উপচ্ছায়া অংশের  $V$ -বিন্দুতে চোখ রাখিলে দর্শক উৎসের  $SU$  অংশ দেখিতে পাইবে, বাকি অংশ বস্তুটির আড়ালে পড়িবে বলিয়া ঐ অংশ দর্শক দেখিতে পাইবে না।

(iii) বিস্তৃত আলোক উৎস এবং ক্ষুদ্রতর অবচ্ছ প্রতিবন্ধক : মনে করি,  $SS'$  একটি আলোক-উৎস এবং  $AB$  এই আলোর উৎস অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর অবচ্ছ বস্তু (চিত্র 1.7)। এইরূপ ক্ষেত্রে ছায়ার প্রকৃতি বস্তু হইতে পর্দার দূরত্বের উপর নির্ভর করিবে।



চিত্র 1.7

$S$ -বিন্দু হইতে আগত আলোক-শঙ্কু  $AB$ -বস্তু দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হইয়া পর্দার  $MN'$  অংশে ছায়ার সৃষ্টি করে। অনুরূপভাবে,  $S'$ -বিন্দু হইতে আগত আলোক-শঙ্কু বস্তু কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইয়া পর্দার  $M'N$  অংশে ছায়ার সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে পর্দার  $MN$  অংশে আলোক-উৎসের কোন অংশ হইতেই আলো আসিতে পারে না। ফলে এই অংশে প্রচ্ছায়ার সৃষ্টি হয়।  $M'N$  অংশ এবং  $MN'$  অংশ আলোক-উৎসের কোন কোন স্থান হইতে আলোক পাইবে। ফলে এই অংশদ্বয়ে উপচ্ছায়া সৃষ্ট হইবে।

বস্তু হইতে পর্দাটি সরাইতে থাকিলে প্রচ্ছায়া অঞ্চলটি আকারে ছোট হইতে থাকে। পর্দা  $P, Q$  অবস্থানে আসিলে প্রচ্ছায়া-শঙ্কুটি পর্দার গায়ে  $E$  বিন্দুতে মিলিত হইবে।  $P, Q$  অবস্থানে রাখিলে সম্পূর্ণ ছায়াই উপচ্ছায়ায় পরিণত হইবে। কিন্তু ছায়ার সকল অংশের প্রকৃতি এক হইবে না। পর্দার  $M'N$  অংশে কোন স্থানে চোখ রাখিয়া আলোক-উৎসের দিকে তাকাইলে উহার নিচের কিছু অংশ অন্ধকারাচ্ছন্ন মনে হইবে (চিত্রের তান পার্শ্বে ইহা দেখান হইয়াছে)।  $MN'$  অংশে চোখ রাখিলে আলোক-উৎসের উর্দ্ধাংশ অন্ধকারাচ্ছন্ন মনে হয়।  $NM$  অংশে চোখ রাখিয়া আলোক-উৎসের দিকে তাকাইলে উহার মধ্যবর্তী অংশ অন্ধকারাচ্ছন্ন দেখাইবে এবং উহার চতুর্দিকে একটি আলোর বলয় দেখা যাইবে।

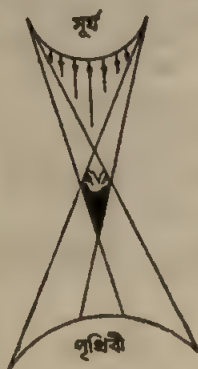


### ● উচ্চতে উঠিলে পাখি বা উড়োজাহাজের ছায়া পড়ে না কেন?

পাখি বা উড়োজাহাজ যখন মাটির খুব কাছাকাছি দিয়া উড়িয়া যায় তখন মাটিতে



চিত্র 1.8 (a)



চিত্র 1.8 (b)

উহাদের ছায়া পড়ে, কিন্তু উচ্চতে উঠিয়া গেলে পৃথিবী-পৃষ্ঠে উহাদের ছায়া পড়ে না। 1.8 নং চিত্রের সাহায্যে ইহার কারণ ব্যাখ্যা করা হইল। এখানে সূর্য বিস্তৃত আলোক-উৎসের ন্যায়, উড়ন্ত পাখি বা বিমান ক্ষুদ্রতর অস্ফুট প্রতিবন্ধকের ন্যায় এবং পৃথিবী পর্দার ন্যায় ক্রিয়া করে। যখন উড়োজাহাজ বা পাখি পৃথিবী-পৃষ্ঠের কাছাকাছি থাকে তখন উহার প্রচ্ছন্ন-শঙ্কু পৃথিবীর উপর পড়ে, ফলে ভূপৃষ্ঠে উহার ছায়ার সৃষ্টি হয় [চিত্র 1.8 (a)]।

কিন্তু বিমান বা পাখি যখন উচ্চ

উঠিয়া যায় তখন উহাদের ছায়া সূর্য প্রচ্ছন্ন-শঙ্কু পৃথিবীতে পৌঁছবার আগেই শেষ হইয়া যায়, ফলে পৃথিবীতে উহার ছায়া পড়ে না [চিত্র 1.8 (b)]।

### 1.7 গ্রহণ (Eclipses)

পৃথিবী যেমন সূর্যের চারিদিকে প্রদক্ষিণ করিতেছে তেমন চন্দ্রও আপন কক্ষপথে পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করিতেছে। এই ঘূর্ণনকালে চন্দ্র যখন পৃথিবী ও সূর্যের মাঝখানে আসিয়া পড়ে তখন সূর্য-গ্রহণ হয়। আবার পৃথিবী যদি সূর্য ও চন্দ্রের মধ্যবর্তী স্থানে প্রবেশ করে তবে পৃথিবীর ছায়া চন্দ্রের উপর পড়ে, তখন চন্দ্রগ্রহণ দেখা যায়।

**সূর্য-গ্রহণ (Solar eclipse):** সূর্যগ্রহণ তিনপ্রকার—পূর্ণগ্রহণ, আংশিক বা খণ্ডগ্রহণ ও বলয়গ্রহণ। চন্দ্র যখন ঘুরিতে ঘুরিতে পৃথিবী ও সূর্যের মাঝখানে আসিয়া পড়ে তখন সূর্য হইতে আগত আলো অস্ফুট চন্দ্রে বাধাপ্রাপ্ত হইয়া পৃথিবীতে প্রচ্ছন্ন ও উপচ্ছন্ন সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে সূর্য আলোক-উৎস, চন্দ্র ক্ষুদ্রতর অস্ফুট বস্তু এবং পৃথিবী পর্দার কাজ



চিত্র 1.9

করে। চন্দ্রের প্রচ্ছন্ন-শঙ্কু পৃথিবীর যে-অংশে পড়ে সেই অংশ হইতে সূর্যের কোন অংশ দেখা যায় না। অর্থাৎ, সেই অংশে সূর্যের পূর্ণগ্রহণ হয়। 1.9 নং চিত্রে CD অংশ হইতে সূর্যের পূর্ণগ্রহণ দেখা বাইবে। এইরূপ প্রচ্ছন্ন পৃথিবীর খুব কম অংশেই সূর্য

হয় ; ফলে খুব অল্প জায়গা হইতেই সূর্যের পূর্ণগ্রহণ দেখা যাইবে । আবার পৃথিবী-পৃষ্ঠের CE এবং DF অংশ চন্দ্রের উপছায়া অঞ্চলে আছে, ফলে ঐ অংশস্থল হইতে সূর্যপৃষ্ঠের অংশমাত্র দেখা যাইবে, অর্থাৎ ঐ দুই অংশ হইতে সূর্যের আংশিক গ্রহণ দেখা যাইবে । এখানে লক্ষণীয় যে, পৃথিবীর আলোকিত অর্ধাংশের সকল স্থান হইতে একই সঙ্গে সূর্যগ্রহণ দেখা যায় না । পৃথিবী-পৃষ্ঠের AE এবং FB অংশ (চিত্র 1.9) চন্দ্রের দ্বারা এবং প্রচ্ছায়া অঞ্চলের বাহিরে বলিয়া ঐ অংশ হইতে সূর্যগ্রহণ দেখা যায় না ।

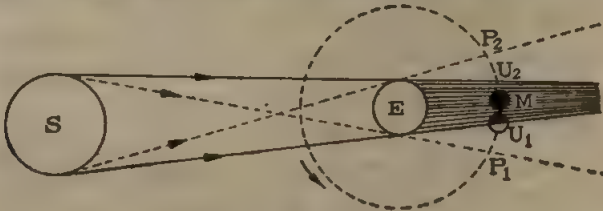
চন্দ্র ও পৃথিবীর দূরত্ব সকল সময় সমান থাকে না বলিয়া অনেক সময় চন্দ্রের প্রচ্ছায়া পৃথিবীতে পৌছাইবার আগেই শেষ হইয়া যায় । এই প্রচ্ছায়া-শঙ্কু বিন্দুতে পরিণত হইয়া



চিত্র 1.10

পুনরায় বিপরীত দিকে অপসারী শঙ্কুর সৃষ্টি করে । এই অপসারী শঙ্কুটি পৃথিবীর যে-অংশে পড়ে, সেই অংশ হইতে সূর্যের মধ্যবর্তী অংশ অন্ধকারাচ্ছন্ন দেখায় এবং ঐ অন্ধকার অংশের চতুর্দিকে বলয়াকৃতি উজ্জ্বল অংশ দেখা যায় । এই গ্রহণকে সূর্যের বলয়গ্রহণ বলা হয় । 1.10 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে যে, চন্দ্রের প্রচ্ছায়া-শঙ্কু বিন্দুতে পরিণত হইয়া যে-অপসারী শঙ্কু গঠন করে তাহা পৃথিবী-পৃষ্ঠের FG অঞ্চলে পড়ে । স্পষ্টতই, এই অঞ্চল হইতে সূর্যের বলয়গ্রহণ দেখা যাইবে ।

**চন্দ্রগ্রহণ :** (Lunar eclipse) : পৃথিবী যখন সূর্য ও চন্দ্রের মাঝখানে আসে তখনই চন্দ্রগ্রহণের সৃষ্টি হয় । পূর্ণিমাতে পৃথিবী চন্দ্র ও সূর্যের মধ্যবর্তী হয় । কোন কোন পূর্ণিমায় পৃথিবীর দ্বারা চন্দ্রের উপর পড়ে । চন্দ্রের নিজস্ব কোন আলো নাই,



চিত্র 1.11

সূর্যের আলোকেই ইহা আলোকিত হয় । তাই চন্দ্রের যে-অংশ পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুতে প্রবেশ করে সেই অংশ অন্ধকারাচ্ছন্ন হইয়া পড়ে (চিত্র 1.11) । যদি সম্পূর্ণ চন্দ্রই পৃথিবীর প্রচ্ছায়ার প্রবেশ করে তবে পূর্ণগ্রাস চন্দ্রগ্রহণ হয় । যদি চন্দ্রের একটি অংশমাত্র অন্ধকারাচ্ছন্ন হয় তবে অংশগ্রাস চন্দ্রগ্রহণ হয় ।



সূর্যের বলরগ্ৰাস হয়, কিন্তু চন্দ্রের বলরগ্ৰাস কখনো হয় না। ইহার কারণ এই যে, পৃথিবীর চতুর্দিকে চন্দ্রের কক্ষপথে পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর বিস্তার চন্দ্রের ব্যাসের তুলনায় অনেক বেশি। এইজন্য পৃথিবীর প্রচ্ছায়া চন্দ্রের বহিরাংশকে অনাবৃত রাখিয়া কেবলমাত্র উহার মধ্যবর্তী অংশকে আচ্ছন্ন করিতে পারে না।

প্রত্যেক পূর্ণিমা তিথিতেই পৃথিবী, সূর্য ও চন্দ্রের মধ্যস্থলে আসে। সুতরাং, স্বাভাবিকভাবেই প্রশ্ন উঠবে, প্রাতি পূর্ণিমাতে চন্দ্রগ্রহণ হয় না কেন? ইহার কারণ এই যে, পৃথিবী ও চন্দ্রের কক্ষপথ এক সমতলে অবস্থিত নহে। এই দুই তলের মধ্যে প্রায়  $5^\circ$  ডিগ্রি কোণ রহিয়াছে। ফলে পূর্ণিমার সময় চন্দ্র সাধারণত পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর বাহিরে থাকে, তাই চন্দ্রগ্রহণ হয় না। কিন্তু কোন কোন পূর্ণিমায় চন্দ্র, সূর্য ও পৃথিবী এক সরলরেখায় চলিয়া আসে এবং গ্রহণের সৃষ্টি করে।

গ্রহণের কিছুক্ষণ আগে এবং পর চন্দ্রকে দ্রষ্টা দেখায়। ইহার কারণ এই যে, চন্দ্রগ্রহণের কিছুক্ষণ পূর্বে চন্দ্র পৃথিবীর উপচ্ছায়া অঞ্চলে (চিত্রে  $P_2 U_1$  অংশে) প্রবেশ করে। এই সময় চন্দ্র সূর্যের সমস্ত অংশ হইতে আলো পায় না, ফলে চন্দ্রের উজ্জ্বলতা কমিয়া যায়। গ্রহণ ছাড়িবার অব্যবহিত পরেও চন্দ্র কিছুক্ষণ উপচ্ছায়া অঞ্চলে ( $P_2 U_2$  অংশে) থাকে, ফলে চন্দ্রকে দ্রষ্টা দেখায়।

## 1.8 আলোক গতিবেগ

শব্দ-তরঙ্গের সম্ভালনের জন্য একটি মাধ্যম প্রয়োজন, কিন্তু আলোক-তরঙ্গ এইরূপ নহে। ইহার সম্ভালনের জন্য কোন মাধ্যমের প্রয়োজন নাই। সূর্য ও অন্যান্য জ্যোতিষ্ক হইতে পৃথিবীতে আলো ও অন্যান্য বিকিরণ আসে। অথচ, পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের উপর হইতে এসব জ্যোতিষ্ক পৰ্যন্ত দূরত্বের ব্যবধানে কোন মাধ্যম নাই। মাধ্যম ব্যতীত আলোক-তরঙ্গের সম্ভালন ব্যাখ্যা করিতে অসমর্থ হইয়া বিজ্ঞানীরা একটি কাল্পনিক মাধ্যমের আশ্রয় স্বীকার করিয়া লইতে বাধ্য হইয়াছিলেন। বিজ্ঞানীরা এই কাল্পনিক মাধ্যমের নাম দিয়াছিলেন ইথার (ether)। কিন্তু বর্তমানে এই কাল্পনিক মাধ্যমের ধারণা পরিত্যক্ত হইয়াছে। বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল তাঁহার তাত্ত্বিক গবেষণার সাহায্যে দেখাইয়াছেন যে, আলো একপ্রকার তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ (electro-magnetic wave)। এই তত্ত্বানুসারে, বৈদ্যুতিক স্পন্দন ও চৌম্বক স্পন্দনের যুগপৎ বিস্তারই আলোক-তরঙ্গের সম্ভালন। চৌম্বক প্রভাব এবং বৈদ্যুতিক প্রভাব শূন্যস্থানের মধ্য দিয়াই স্বচ্ছন্দে অগ্রসর হইতে পারে বলিয়া এক্ষেত্রে ইথার মাধ্যমের কল্পনা করা অনাবশ্যক।

আলোর গতিবেগ অতি প্রচণ্ড বলিয়া এই গতিবেগ-পরিমাপের প্রাথমিক প্রচেষ্টাগুলি ব্যর্থ হইয়াছিল। ইহার ফলে সপ্তদশ শতাব্দী পৰ্যন্ত অনেক বিজ্ঞানীর ধারণা ছিল যে, আলো অসীম গতিবেগে এক স্থান হইতে অন্য স্থানে সম্ভালিত হয়। বিজ্ঞানী গ্যালিলিও প্রথমে এই অভিমত ব্যক্ত করেন যে, আলোর গতিবেগ খুব বেশি হইলেও ইহা অসীম নহে। কিন্তু তিনি তাঁহার এই অভিমতকে পরীক্ষার দ্বারা প্রতিষ্ঠিত করিতে পারেন নাই, কেননা, আলোর তীব্র গতিবেগ মাপিবার মত সূক্ষ্ম যন্ত্রপাতি উদ্ভাবন তখনও সম্ভবপর হয় নাই। 1675 খ্রীষ্টাব্দে কোপেনহেগেনের জ্যোতির্বিজ্ঞানী রোমার (Romer) সর্বপ্রথম আলোর গতিবেগ নির্ণয় করেন। তিনি বৎসরের দুই অর্ধে বৃহস্পতির একটি উপগ্রহের গ্রহণকালের প্রভেদ মাপিয়া আলোর গতিবেগের মান নির্ধারণ করেন। সম্পূর্ণ পৃথিবী (terrestrial)

পরীক্ষার সর্বপ্রথম আলোর গতিবেগ পরিমাপ করেন ফরাসী বিজ্ঞানী ফিজো। ইহার পর ফুকো, মাইকেলসন, অ্যাণ্ডারসন প্রমুখ বিজ্ঞানীরা অধিকতর সূক্ষ্মভাবে আলোর গতিবেগ মাপিবার পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন। সূক্ষ্ম পরিমাপের দ্বারা বিজ্ঞানীরা স্থির করিয়াছেন যে, শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ,

$$c = 229,792.5 \pm 0.3 \text{ km/sec}$$

সাধারণ হিসাবের ক্ষেত্রে  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$  ধরিয়া লওয়া যায়।

দূরত্বকে মাইলে প্রকাশ করিলে শূন্যস্থানে আলোর বেগ প্রায় 1,86,000 মাইল/সেকেন্ড। সূর্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব প্রায়  $93 \times 10^6$  মাইল। কাজেই, সূর্য হইতে পৃথিবীতে আলো আসিতে যে-সময় লয় তাহার মান

$$= \frac{93 \times 10^6}{1,86,000} \text{ সেকেন্ড} = 8 \text{ মিনিট } 20 \text{ সেকেন্ড (প্রায়)}$$

### 1.9 আলোক-বর্ষ (Light year)

পৃথিবী হইতে নক্ষত্রগুলির দূরত্ব এত বেশি যে, ইহাদের দূরত্বকে কিলোমিটার বা মাইলে প্রকাশ করা খুব সুবিধাজনক নয়। এইজন্য জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা নক্ষত্রাদির দূরত্ব প্রকাশের জন্য একটি নূতন একক স্থির করিয়া লইয়াছেন। ইহাকে আলোক-বর্ষ বলা হয়। আলো শূন্যস্থানের মধ্য দিয়া এক বৎসরে যে-দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাকে বলা হয় এক আলোক-বর্ষ। আমরা জানি যে, শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ সেকেন্ডে 1,86,000 মাইল। কাজেই,

$$\begin{aligned} \text{আলোক-বর্ষ} &= 1,86,000 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ মাইল} \\ &= 5.86 \times 10^{12} \text{ মাইল (প্রায়)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{বিকল্পে, 1 আলোক-বর্ষ} &= 3 \times 10^5 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ কিলোমিটার} \\ &= 9.45 \times 10^{12} \text{ কিলোমিটার (প্রায়)} \end{aligned}$$

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

**উদাহরণ 1.1** 6 ft লম্বা এক ব্যক্তি 9 ft উঁচুতে অবস্থিত একটি বাতি হইতে 3 ft দূরে দাঁড়াইয়া আছে। লোকটির ছায়ার দৈর্ঘ্য কত হইবে?

**সমাধান :** ব্যক্তির অবস্থানকে A এবং লোকটির দৈর্ঘ্যকে CD দ্বারা সূচিত করা হইল (চিত্র 1.12)। মনে করি, ছায়ার দৈর্ঘ্য = DE = x ft

$\triangle ABE$  এবং  $\triangle CDE$   
ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ বলিয়া লেখা যায়,

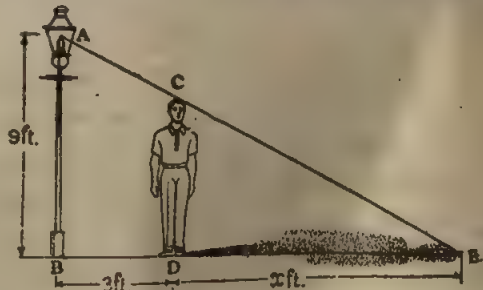
$$\frac{AB}{BE} = \frac{CD}{DE}$$

$$\text{বা, } \frac{9}{x+3} = \frac{6}{x}$$

$$\text{বা, } 3x = 2x + 6$$

$$\text{বা, } x = 6$$

সুতরাং, ছায়ার দৈর্ঘ্য = 6 ft

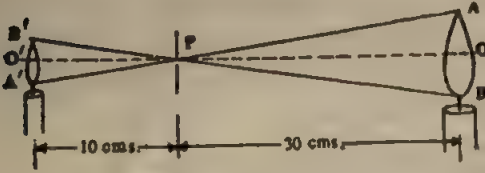


চিত্র 1.12



**উদাহরণ 1.2** একটি সূচীছিন্ন ক্যামেরার স্ক্রিনের মধ্য দিয়া আলো প্রবেশ করিয়া একটি দীপাংশিখার 1 cm দীর্ঘ প্রতিচ্ছবি গঠিত হইল। স্ক্রিন হইতে পর্দার দূরত্ব 10 cm এবং প্রদীপের দূরত্ব 30 cm হইলে দীপাংশিখার দৈর্ঘ্য কত?

**সমাধান :** 1.13 নং চিত্রানুসারে লেখা যায়,



চিত্র 1.13

$$\text{সুতরাং, } AB = \frac{PO}{PO'} \times A'B' = \frac{30}{10} \times 1 \text{ cm} = 3 \text{ cm}$$

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{PO}{PO'}$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,

$$PO = 30 \text{ cm, } PO' = 10 \text{ cm}$$

$$\text{এবং } A'B' = 1 \text{ cm}$$

**উদাহরণ 1.3** দুপুরে সূর্য যখন মধ্য গগনে তখন 2 ft বিস্তারের ডানাবিশিষ্ট একটি পাখি উড়িতেছে। ভূমিতে পাখির ছায়াটি প্রচ্ছন্নাবিহীন হইলে পাখিটি ন্যূনতম কত উচ্চতার উড়িতেছে? ধরিয়া লও যে, সূর্যের ব্যাস =  $9 \times 10^8$  মাইল এবং পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব =  $9 \times 10^7$  মাইল। [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1967 ]

**সমাধান :** পাখিটি যে-ন্যূনতম উচ্চতার উড়িলে ভূমিতে পাখির ছায়া প্রচ্ছন্নাবিহীন হয় পাখি যখন সেই উচ্চতার থাকে তখন উহার প্রচ্ছন্ন-সঙ্কুর দীর্ঘবিন্দুটি ভূমি স্পর্শ করে (চিত্র 1.14)। চিত্র হইতে লেখা যায়,

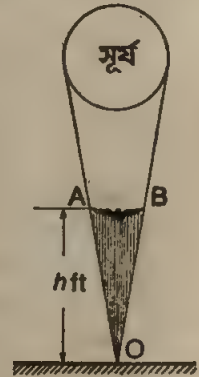
$$\frac{\text{সূর্যের ব্যাস}}{\text{পৃথিবী ও সূর্যের দূরত্ব}} = \frac{\text{পাখির ডানার বিস্তার (AB)}}{\text{পাখির ন্যূনতম উচ্চতা}}$$

পাখির ন্যূনতম উচ্চতা  $h$  হইলে প্রশ্ন হইতে অন্যান্য রাশিগুলির মান বসাইয়া পাই,

$$\frac{9 \times 10^8 \text{ মাইল}}{9 \times 10^7 \text{ মাইল}} = \frac{2 \text{ ft}}{h}$$

$$\text{বা, } h = 200 \text{ ft}$$

অর্থাৎ, পাখিটি ভূমি হইতে কমপক্ষে 200 ফুট উচ্চতার উড়িলে ভূমিতে উহার ছায়া প্রচ্ছন্নাবিহীন হইবে।



চিত্র 1.14

**উদাহরণ 1.4** একটি 2.6 cm ব্যাসাবিশিষ্ট বৃত্তাকার অশুদ্ধ চাকৃতিকে সূর্যরশ্মির পথে লম্বভাবে রাখা হইল এবং ইহার পিছনে একটি পর্দাকে এমন স্থানে রাখা হইল যে, পর্দার প্রচ্ছন্নায়র ব্যাস শূন্য হইল। সূর্যের ব্যাস  $1.30 \times 10^8$  km এবং চাকৃতি হইতে সূর্যের দূরত্ব  $1.50 \times 10^8$  km হইলে চাকৃতি হইতে পর্দার দূরত্ব কত হইবে নির্ণয় কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983 ]

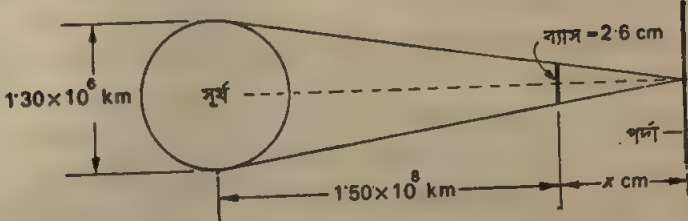
**সমাধান :** মনে করি, চাকৃতি হইতে পর্দার দূরত্ব =  $x$  cm

1.13 নং চিত্র হইতে লেখা যায়,

$$\frac{\text{সূর্যের ব্যাসার্ধ}}{\text{চাক্তির ব্যাসার্ধ}} = \frac{\text{সূর্য হইতে পর্দার দূরত্ব}}{\text{চাক্তি হইতে পর্দার দূরত্ব}}$$

$$\text{বা, } \frac{1.3 \times 10^6 \times 10^5 \text{ cm}}{2.6 \text{ cm}} = \frac{(1.5 \times 10^8 \times 10^5 + x) \text{ cm}}{x \text{ cm}}$$

$$\text{বা, } 5 \times 10^{10} = \frac{1.5 \times 10^{13}}{x} + 1$$



চিত্র 1.15

$$\text{বা, } \frac{1.5 \times 10^{13}}{x} = 5 \times 10^{10}$$

$$\text{বা, } \frac{1.5 \times 10^{13}}{5 \times 10^{10}} = 300 \text{ cm} = 3 \text{ m}$$

**উদাহরণ 1.5** এক ব্যক্তি 20 m উচ্চতাবিশিষ্ট একটি উল্লম্ব মিনারের উপর দাঁড়াইল। সে পৃথিবী-পৃষ্ঠের কতটা দেখিতে পাইবে? (লোকটির উচ্চতা উপেক্ষা কর)। এই গণনার তুমি আলোর কোন্ ধর্ম ব্যবহার করিবে? ধরিয়া লও যে, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ = 6400 km। [অরেষ্ট এন্ডোলস, 1982]

**সমাধান :** সমস্বত্ব মাধ্যমে আলো সরলরেখা বরাবর চলে—আলোর এই ধর্মের ভিত্তিতে প্রদত্ত গাণিতিক সমস্যটির সমাধান করা যায়।

মিনারের চূড়া A হইতে পৃথিবী-পৃষ্ঠের উপর AB ট্যানজেন্ট (tangent) টানা হইল। মনে করি, মিনারের উপর দণ্ডায়মান ব্যক্তি পৃথিবী-পৃষ্ঠে x m দূরত্ব পর্যন্ত দেখে। ধরা যাক, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ = R m।

1.16 নং চিত্র হইতে লেখা যায়,

$$x \approx AB = \sqrt{(R+20)^2 + R^2} \text{ m}$$

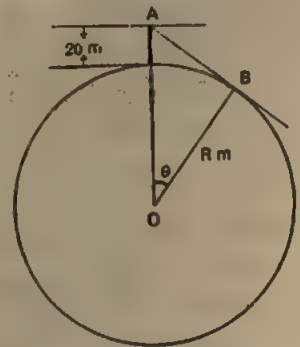
$$= R \sqrt{\left(1 + \frac{20}{R}\right)^2 - 1} \text{ m}$$

$$= R \sqrt{1 + \frac{40}{R} + \left(\frac{20}{R}\right)^2 - 1} \text{ m}$$

$$= \sqrt{40R} \text{ m} \left[ \left(\frac{20}{R}\right)^2 \text{ উপেক্ষা করিয়া} \right]$$

$$\therefore x = \sqrt{40 \times 6400 \times 10^3} \text{ m}$$

$$= \sqrt{256 \times 10^6} \text{ m} = 16000 \text{ m} = 16 \text{ km}$$



চিত্র 1.16

কাজেই, মিনারের উপর দণ্ডায়মান ব্যক্তি পৃথিবী-পৃষ্ঠের 16 কিলোমিটার দূরত্ব পর্যন্ত দেখিতে পাইবে।

### সার-সংক্ষেপ

আলো এক প্রকার শক্তি। আধুনিক মতবাদ অনুসারে, আলো তরঙ্গধর্মী, তবে, ইহাতে কণাধর্মও বর্তমান।

যে-মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলো কার্যত শোষিত না হয়, তা সঞ্চালিত হইতে পারে তাহাকে স্বচ্ছ মাধ্যম বলা হয়। যে-মাধ্যমের মধ্য দিয়া সঞ্চালনকালে আলো আংশিক-ভাবে শোষিত হয় তাহাকে অস্বচ্ছ মাধ্যম বলা হয়। আর, যে-মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলো কার্যত সঞ্চালিত হইতে পারে না তাহাকে অস্বচ্ছ মাধ্যম বলা হয়। এইরূপ মাধ্যমে আলো শোষিত হইয়া যায়। যে-মাধ্যমের সকল অংশের ভৌত গুণাবলী অভিন্ন তাহাকে সমসত্ত্ব মাধ্যম বলা হয়। আর, যে-মাধ্যমের সকল অংশের ভৌত গুণাবলী এক এবং অভিন্ন নয়, তাহাকে অসমসত্ত্ব মাধ্যম বলা হয়।

আলোক-উৎস হইতে নির্দিষ্ট দিকে আলোর গমন-পথকে একটি সরলরেখার সাহায্যে দেখান যায়। এইরূপ সরলরেখাকে আলোক-রশ্মি বলা হয়। সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোক-রশ্মি সরলরেখা হয়, কিন্তু অসমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোক-রশ্মি বক্রাকার হয়।

কতকগুলি আলোক-রশ্মির সমন্বয়ে রশ্মিগুচ্ছ সৃষ্টি হয়। রশ্মিগুচ্ছকে প্রধানত তিনভাগে ভাগ করা যায়—(i) সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ, (ii) অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ এবং (iii) অপসারী রশ্মিগুচ্ছ।

আলো সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলে। আলো সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলে বলিয়াই অল্প বস্তুর উপর আলো পড়িলে ছায়ার সৃষ্টি হয়। সূর্য্যোদয় ক্যামেরায় কোন বস্তুর উপর প্রতিফলিত গঠনও সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোর সরলরৈখিক গতির সাক্ষ্য দেয়।

চাঁদের ছায়া পৃথিবীর যে-অংশে পড়ে সেই অংশ হইতে সূর্য্যগ্রহণ দেখা যায়। পৃথিবীর যে-অংশে চাঁদের প্রচ্ছায়ার সৃষ্টি হয় সেই অংশ হইতে সূর্যের পূর্ণগ্রাস দেখা যায়। পৃথিবী-পৃষ্ঠের যে-অংশে চাঁদের উপচ্ছায়ার সৃষ্টি হয় সেই অংশ হইতে সূর্যের খণ্ড গ্রাস দেখা যায়। চাঁদের প্রচ্ছায়া-শঙ্কু যদি পৃথিবীতে গোঁড়িবার পূর্বে শেষ হইয়া যায় তাহা হইলে সূর্যের বলয়-গ্রাস দেখা যায়। সূর্যগ্রহণের জন্য চন্দ্রকে সূর্য এবং পৃথিবীর মাঝখানে উহাদের সহিত এক সরলরেখায় আসিতে হয়। কেবলমাত্র অমাবস্যা তিথিতেই এইরূপ হইতে পারে বলিয়া কেবলমাত্র অমাবস্যাতেই সূর্যগ্রহণ দেখা যায়। অবশ্য, সকল অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ হয় না।

বিশেষ পূর্ণিমা তিথিতে পৃথিবী চন্দ্র এবং সূর্যের মাঝামাঝি আসিলে চন্দ্রের উপর পৃথিবীর ছায়া পড়িতে পারে। এই অবস্থায় চন্দ্রগ্রহণ সৃষ্টি হয়।

শূন্যস্থানের মধ্য দিয়া আলো সেকেন্ডে প্রায় 300000 কিলোমিটার দূরত্ব অতিক্রম করে। আলো শূন্যস্থানের মধ্য দিয়া এক বৎসরে যে-দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাকে আলোক-বর্ষ বলা হয়।



প্রশ্নাবলী 1

হৃদয়ের প্রশ্নাবলী

1. (a) ছায়ার সৃষ্টি হইতেই বুঝা যায় যে, আলো সরলরেখায় চলে।—এ উক্তির ব্যাখ্যা কর।

(b) সূচীছিন্ন ক্যামেরার ছিন্নটি বৃত্তাকার না হইয়া চিকোণাকার হইলে প্রতিফলিত পদার্থ হইবে কি? [ উচ্চ মাধ্যমিক (শশিচন্দ্র), 1983 ]

2. একটি বৈশিষ্ট্য আলোক-উৎস দ্বিভুজাকৃতি সূচীছিন্নের সম্মুখে রাখিলে ক্যামেরার পর্দায় গঠিত প্রতিফলিত আকার কী হইবে? ব্যাখ্যাসহ উত্তর দাও।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (শশিচন্দ্র), 1983 ]

3. 'সূচীছিন্ন ক্যামেরার বন্ধুর যে-প্রতিফলিত পাওয়া যায় তাহাকে প্রতিবিম্ব বলা যায় না'। বৃষ্টিসহ উক্তিটি আলোচনা কর।

4. একটি বিমান বা উড়ন্ত পাখি অনেক উপরে উঠিলে মাটিতে উহার কোন ছায়া পড়ে না কেন ব্যাখ্যা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক (শশিচন্দ্র), 1985 ]

5. সকল পূর্ণিমা তিথিতে চন্দ্রগ্রহণ হয় না কেন? ব্যাখ্যা কর।

6. চন্দ্রগ্রহণের আগে এবং পরে চন্দ্রকে স্নান দেখায় কেন?

7. সূচীছিন্ন ক্যামেরার ছিন্নের আকার বড় হইলে প্রতিফলিত অস্পষ্ট হইয়া যায় কেন? বুঝাইয়া বল।

8. সূর্যের বলগ্রাস হয় অথচ চন্দ্রের বলগ্রাস হয় না। ইহার কারণ কী?

9. দিনের বেলা, বিশেষত সূর্য বন্ধন মধ্য গগনে থাকে তখন ঘন পরাবৃত্ত গাছের নিচে আলোর গোলাকার ছাপ দেখা যায়। ইহার কারণ কী?

10. কোন বন্ধ অঙ্কুর ঘরের জানালার গায়ের কোন ছিন্ন দিয়া সূর্যালোক প্রবেশ করিলে ঘরের মেঝেতে কিংবা বিপরীত পার্শ্বের দেওয়ালে বৃত্তাকার বা উপবৃত্তাকার আলোর ছাপ দেখা যায়। ইহার কারণ বুঝাইয়া বল।

11. প্রতি অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ দেখা যায় না কেন? ব্যাখ্যা কর।

12. একটি সূচীছিন্নের মধ্য দিয়া কোন ঘরে সূর্যের আলো আসিলে সূর্যগ্রহণ দেখা সম্ভব হয়, কিন্তু ছিন্নটি বড় হইলে আর তাহা সম্ভব হয় না। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

নিবন্ধন প্রশ্নাবলী

13. একটি পরীক্ষার দ্বারা দেখাও যে, আলো সরলরেখায় চলে। ছায়া কাহাকে বলে? প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার মধ্যে পার্থক্য কী? উদাহরণসহ আলোচনা কর।

14. সূচীছিন্ন ক্যামেরার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক (শশিচন্দ্র), 1983 ] ইহার ছিন্নটি আকারে বড় হইলে এবং উৎস হইতে ছিন্নটির দূরত্ব বাড়িলে প্রতিফলিত কীমুপভাবে পরিবর্তিত হয়?

15. গ্রহণ কাহাকে বলে? সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণ কীভাবে হয় তাহা চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া বল।

16. সূর্যগ্রহণ এবং চন্দ্রগ্রহণ সৃষ্টি চিত্রের সাহায্যে দেখাও। সূর্যগ্রহণ-সংক্রান্ত চিত্র হইতে বুঝাইয়া বল : (i) পৃথিবীর আলোকিত অর্ধাংশের সকল স্থান হইতে সূর্যগ্রহণ দেখা যায় না কেন? (ii) কোন্ স্থান হইতে পূর্ণ সূর্যগ্রহণ এবং কোন্ স্থান হইতে আংশিক গ্রহণ দেখা যায়? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1963, উচ্চ মাধ্যমিক, (ত্রিপুরা), 1984]

17. সকল পূর্ণিমা তিথিতে চন্দ্রগ্রহণ হয় না কেন? চন্দ্রগ্রহণের আগে এবং পরে চন্দ্রকে স্নান দেখায় কেন? সূর্যের বলগ্রহণ কীভাবে হয় তাহা চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

18. ছায়া কাহাকে বলে? চিত্রের সাহায্যে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার গঠন ব্যাখ্যা কর। পাখি যখন মাটির কাছাকাছি দিয়া উড়িয়া যায় তখন মাটিতে উহার ছায়া পড়ে, কিন্তু উপরে উঠিয়া গেলে উহার ছায়া পড়ে না কেন?

19. চিত্রের সাহায্যে সূচীছিন্ন ক্যামেরার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। এই ক্যামেরার সাহায্যে পরীক্ষা করিয়া কী সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায়? (i) ছিত্রের আকার বাড়াইলে, (ii) ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব বাড়াইলে প্রতিফলিত কীৰূপ পরিবর্তন হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1961]

20. (a) প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়া কাহাকে বলে চিত্রসহ বুঝাইয়া দাও। (b) সূচীছিন্ন ক্যামেরার সাহায্যে আলোর সরলরৈখিক গতি কীভাবে প্রমাণিত হয়?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1985]

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

21. একটি সূচীছিন্ন ক্যামেরার ছিদ্র এবং পর্দার মধ্যবর্তী দূরত্ব 20 cm। পর্দায় কোন বস্তুর দৈর্ঘ্যের এক-তৃতীয়াংশ দৈর্ঘ্যসম্পন্ন প্রতিফলিত গঠন করিতে হইলে ছিদ্র এবং বস্তুর মধ্যে দূরত্ব কত হইবে নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983] [15 cm]

22. একটি সূচীছিন্ন ক্যামেরাকে একটি শুভ্র হইতে কিছু দূরে রাখিলে ইহার মধ্যে শুভ্রের 6 cm উচ্চ বিম্ব গঠিত হইল। শুভ্রের সহিত একই সরলরেখায় ক্যামেরাটি আরও 10 m দূরে সরাইলে বিম্বের উচ্চতা হইবে 4 cm। শুভ্রের উচ্চতা কত? ক্যামেরার বাজের দৈর্ঘ্য 20 cm। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1985] [6 m]

[সংকেত : যদি, শুভ্রের উচ্চতা =  $h$  m এবং শুভ্র হইতে ক্যামেরার প্রারম্ভিক দূরত্ব =  $x$  m, তাহা হইলে প্রশ্নের শর্তানুসারে লেখা যায়

$$\frac{h}{x} = \frac{6}{20} \quad \dots (i)$$

$$\text{এবং } \frac{h}{x+10} = \frac{4}{20} \quad \dots (ii)$$

এই দুই সমীকরণ হইতে  $x$  অপনয়ন করিয়া পাই,  $h=6$ । কাজেই, শুভ্রের উচ্চতা = 6 m]

23. একটি সূচীছিন্ন ক্যামেরার ছিদ্র হইতে 15 cm দূরে একটি মোমবাতি আছে। বাতির শিখা 2 cm দীর্ঘ। ক্যামেরার পর্দাটি ছিদ্র হইতে 25 cm দূরে। প্রতিফলিত আকার কত হইবে? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1984] [3.33 cm]

24.  $5\frac{1}{2}$  ft লম্বা এক ব্যক্তি একটি ল্যাম্প-পোস্ট হইতে 5 ft দূরে দাঁড়াইয়া আছে। ল্যাম্প-পোস্টের বার্তিটি অনুভূমিক রাস্তা হইতে 9 ft উচ্চত্রে অবস্থিত। লোকটির ছায়ার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1960] [ $7\frac{1}{2}$  ft]

25. 6 ft উচ্চতাবিশিষ্ট জনৈক ব্যক্তি একটি ল্যাম্প-পোস্ট হইতে  $2\frac{1}{2}$  ft দূরে দাঁড়াইয়া দেখিল যে, রাস্তায় তাহার 4 ft দীর্ঘ ছায়া পড়িয়াছে। ল্যাম্প-পোস্টের বার্তিটি রাস্তার তল হইতে কতটা উপরে আছে? [10 ft]

26. সূর্য ও চন্দ্রের ব্যাস যথাক্রমে  $9 \times 10^8$  মাইল এবং 2100 মাইল। পৃথিবী হইতে সূর্য ও চন্দ্রের দূরত্ব যথাক্রমে  $9 \times 10^7$  মাইল এবং 209000 মাইল হইলে পৃথিবীর যে-অংশ হইতে সূর্যের পূর্ণগ্রহণ দেখা যায় তাহার ব্যাস নির্ণয় কর। পৃথিবী-পৃষ্ঠকে সমতল ধরিয়া লও। [আই. এসসি. (গোহাটি বিশ্ববিদ্যালয়), 1957] [প্রায় 10 মাইল]

27. সূর্যের ব্যাস  $9 \times 10^8$  মাইল, পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব  $9 \times 10^7$  মাইল এবং চন্দ্রের ব্যাস 2100 মাইল। কোন এক সূর্যগ্রহণের সময় পৃথিবী-পৃষ্ঠের একটিমাত্র বিন্দু হইতে পূর্ণগ্রহণ দেখা গেলে ঐ সময় পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব কত ছিল?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1969] [ $21 \times 10^4$  মাইল]

28. 10 ft দূরে অবস্থিত কোন বিন্দুতে একটি অর্ধ-পেনি যে-কোণ উৎপন্ন করে সূর্যও সেই কোণ উৎপন্ন করে। এই অর্ধ-পেনি হইতে 5 ft দূরে অর্ধ-পেনির তলের সমান্তরাল-ভাবে রক্ষিত পর্দায় সূর্যরশ্মি অর্ধ-পেনির যে-ছায়ার সৃষ্টি করিবে উহার আকার কী হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), কম্পার্টমেন্টাল, 1961]

[ছায়ার ব্যাস অর্ধ-পেনির ব্যাসের অর্ধেক হইবে]

29. এক অমাবস্যায় পৃথিবী-পৃষ্ঠের এক ব্যক্তি সূর্যের বলয়গ্রাস দেখিতে পায়। ঐ ব্যক্তি পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে ন্যূনতম কতটা উপরে উঠিলে পূর্ণগ্রাস দেখিতে পায়? সূর্য এবং চন্দ্রের ব্যাস যথাক্রমে  $8.6 \times 10^8$  মাইল এবং  $2 \times 10^8$  মাইল। ব্যক্তির অবস্থান হইতে সূর্য এবং চন্দ্রের দূরত্ব যথাক্রমে  $93 \times 10^8$  মাইল এবং  $2.4 \times 10^8$  মাইল।

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1975] [ $2.378 \times 10^4$  মাইল]

30. সূর্যের ব্যাসার্ধ পৃথিবীর ব্যাসার্ধের 100 গুণ এবং পৃথিবী হইতে চন্দ্রের দূরত্ব পৃথিবীর ব্যাসার্ধের 60 গুণ। পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব  $93 \times 10^8$  মাইল হইলে পৃথিবীর প্রাচ্ছায়-শঙ্কুর দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর এবং যে-দূরত্বে চন্দ্র অবস্থিত সেই দূরত্বে উহার প্রস্থচ্ছেদের ব্যাস নির্ণয় কর। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 4000 মাইল। [2978 মাইল (প্রায়)]





## দীপ্তিমিত্রি

*"Work in the light and thou shalt see thy path, though thorny, bright ; for God, by grace, shall dwell in thee, and God himself is light."*  
—Barton

### 2.1 সূচনা

আলো পরিমাপযোগ্য। ইহাকে একপ্রকার প্রবাহ রূপে কল্পনা করা যায়। কোন আলোক-উৎস হইতে নির্গত আলো প্রবাহের ন্যায় চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। তড়িৎ-প্রবাহকে যেমন তড়িদাধানের প্রবাহের হার দ্বারা পরিমাপ করা হয়, আলো-কে তেমনি বিকীর্ণ শক্তির প্রবাহ রূপে প্রকাশ করা যায়। যদি সকল রঙের আলো মানুষের চোখে সমান সাড়া জাগাইতে সক্ষম হইত তাহা হইলে আলোক-প্রবাহকে আগ/সেকেন্ড বা ওয়াটে প্রকাশ করা যাইত। কিন্তু সকল তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো মানুষের চোখে সমান সাড়া জাগায় না। সুতরাং, দীপ্তিমিত্রিতে বিকীর্ণ শক্তিকে উহার দর্শনানুভূতি জাগাইবার ক্ষমতার দ্বারা পরিমাপ করা হয়, মোট শক্তি দ্বারা নয়।

আজকাল কৃত্রিম আলোর ব্যবহার বাড়িয়াছে। বিভিন্ন পরিবেশে এবং বিভিন্ন প্রয়োজনে আলোক-সজ্জা কীরূপ হইলে, কী পরিমাণ আলোক থাকিলে আমাদের পক্ষে সুবিধাজনক ও সুখকর হইবে ইত্যাদি নানা বিষয় লইয়া বিচার করিয়া তদনুসারে অফিস, কল-কারখানা, মিউজিয়াম, রাস্তাঘাট ইত্যাদি আলোকিত করিবার ব্যবস্থা হইতেছে। এই সব বিষয় বর্তমানে এত বেশি বিস্তার লাভ করিয়াছে যে, দীপন-প্রযুক্তিবিদ্যা (illumination engineering) নামে প্রযুক্তিবিজ্ঞানের এক নূতন শাখার উদ্ভব হইয়াছে। দীপন-প্রযুক্তিবিজ্ঞানের নানা প্রয়োজনে আলোর পরিমাণ নির্ধারণ করিতে হয়। বিজ্ঞানের যে-শাখা আলোর পরিমাপ লইয়া আলোচনা করে তাহাকে দীপ্তিমিত্রি (photometry) বলা হয়।

### 2.2 দীপ্তিমিত্রি-সম্বন্ধীয় কয়েকটি রাশি

(i) দীপ্তি বা আলোক-প্রবাহ (Luminous flux): বিভিন্ন আলোক-উৎস হইতে বিকীর্ণ আলোর পরিমাণও বিভিন্ন। একটি মোমবাতি জ্বালিলে ঘরে যে-পরিমাণ আলো হয়, শক্তিশালী বৈদ্যুতিক বাতি জ্বালিলে তদপেক্ষা বহুগুণ বেশি আলো হয়। কোন উৎস হইতে প্রতি সেকেন্ডে মোট যে-পরিমাণ আলো নির্গত হয় তাহার পরিমাণ ঐ উৎসের আলোক-প্রবাহ বা দীপ্তি দ্বারা প্রকাশ করা হয়। অর্থাৎ, প্রতি সেকেন্ডে কোন উৎস হইতে যে-পরিমাণ আলো বাহির হয় তাহাকেই উৎসের আলোক-প্রবাহ বলে।

উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, এখানে 'আলো' বলিতে আলোক-শক্তি বুঝাইতেছে না, দর্শনানুভূতি সৃষ্টিকারী উত্তেজনা (visual stimulus) বুঝাইতেছে। কোন উৎস হইতে নির্গত হইয়া কোন তলের মধ্য দিয়া প্রতি সেকেন্ডে যে-পরিমাণ আলো অতিক্রম করে তাহাকে ঐ তল দিয়া প্রবাহিত আলোক-প্রবাহ বলে। সুতরাং কোন উৎসকে ঘিরিয়া একটি বদ্ধতল (closed surface) কল্পনা করিলে ঐ তলের মধ্য দিয়া প্রতি সেকেন্ডে যে-পরিমাণ আলো অতিক্রম করে তাহাই ঐ উৎসের মোট দীপ্তি বা আলোক-প্রবাহ। আলোক-প্রবাহের একক হইল লুমেন (lumen)।

(ii) দীপন-প্রাবল্য (Luminous intensity or illuminating power) : সাধারণত উৎস হইতে সর্বদিকে সমপরিমাণ আলো প্রবাহিত হয় না। আলোক-উৎস হইতে কোন নির্দিষ্ট দিকে কী পরিমাণ আলো নির্গত হইতেছে তাহা প্রকাশ করা হয় ঐ অভিমুখে উৎসের দীপন-প্রাবল্যের সাহায্যে।

কোন আলোক-উৎস হইতে কোন নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রতি সেকেন্ডে প্রতি একক ঘনকোণ (Solid angle)-এ যে-পরিমাণ আলো প্রবাহিত হয়, তাহাকেই ঐ অভিমুখে আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্য বলা হয়।

কোন নির্দিষ্ট অভিমুখে  $d\omega$  ঘনকোণে প্রতি সেকেন্ডে যদি  $dF$  আলোক-প্রবাহ যায় তাহা হইলে উৎসের দীপন-প্রাবল্য,

$$I = \frac{dF}{d\omega} \quad \dots \quad (2.1)$$

ভাষান্তরে বলা যায়, কোন উৎস হইতে নির্দিষ্ট দিকে একক দূরত্বে বর্ষিমগ্নত্বের সহিত সমকোণে অন্তত একটি ক্ষুদ্র তলের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া প্রতি সেকেন্ডে যে-পরিমাণ আলো প্রবাহিত হয়, তাহাই ঐ অভিমুখে উৎসের দীপন-প্রাবল্য।

দীপন-প্রবাহের একক হইল ক্যান্ডেলা (candela) বা আন্তর্জাতিক ক্যান্ডেল-পাওয়ার (international candle power)।

(iii) দীপনমাত্রা (Illumination or illuminance) : আলোকিত তলের কোন বিন্দুতে প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রতি সেকেন্ডে যে-পরিমাণ আলো আপতিত হয় তাহাকে ঐ বিন্দুতে দীপনমাত্রা বলা হয়। কোন তলের সর্বত্র যদি সম-পরিমাণ আলো পড়ে তবে আপতিত মোট আলোক-প্রবাহকে ঐ তলের ক্ষেত্রফল দ্বারা ভাগ করিয়া ঐ তলের দীপনমাত্রা পাওয়া যায়।

কোন তলের একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে  $dA$  ক্ষেত্রফলে প্রতি সেকেন্ডে যদি  $dF$  আলোক-প্রবাহ আপতিত হয় তাহা হইলে ঐ বিন্দুতে দীপনমাত্রা,

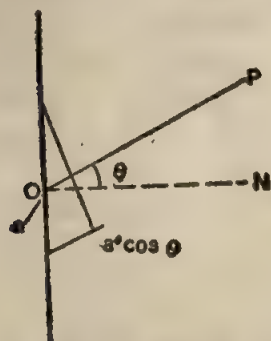
$$E = \frac{dF}{dA} \quad \dots \quad (2.2)$$

মৈট্রিক পদ্ধতিতে দীপনমাত্রার একক ফুট-এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে ইহার একক ফুট-ক্যান্ডেল (foot-candle)।

(iv) ঔজ্জ্বল্য (Brightness or luminance) : উৎস আকারে বিস্তৃত হইলে উহার দীপন-প্রাবল্য ঔজ্জ্বল্য দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোন নির্দিষ্ট অভিমুখে

\* পরিশিষ্ট ক-তে ঘনকোণের সংজ্ঞা দেওয়া হইয়াছে।

যে-কোন উৎসের প্রতি একক অভিক্ষিপ্ত ক্ষেত্রফলের (unit projected area) দীপন-প্রাবল্যই ঐ অভিমুখে উৎসের ঔজ্জ্বল্য।



চিত্র 2.1

মনে করি, উৎসের ক্ষেত্রফল  $a$ ; উহার উপর অঙ্কিত লম্ব ON রেখা OP অভিমুখের সহিত  $\theta$  কোণে আনত। সুতরাং, OP-অভিমুখে উৎসের অভিক্ষিপ্ত ক্ষেত্রফল  $= a \cos \theta$  (চিত্র 2.1)। OP অভিমুখে উৎসের দীপন-প্রাবল্য  $I_0$  হইলে সংজ্ঞানুসারে, OP অভিমুখে উৎসের ঔজ্জ্বল্য হইবে

$$B_\theta = I_0 / a \cos \theta \quad \dots \quad (2.3)$$

## 2.3 দীপ্তিমিতি-সম্বন্ধীয় একক (Photometric units)

(i) দীপন-প্রাবল্যের একক : দীপন-প্রাবল্যের একক ক্যান্ডেলা বা আন্তর্জাতিক ক্যান্ডেল-পাওয়ার। স্যাটিনামের গলনাংক কোন পদার্থ বিকিরকের প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারের দীপন-প্রাবল্যের 60 ভাগের এক ভাগকে ক্যান্ডেলা বলা হয়।

কোন উৎসের দীপন-প্রাবল্য এই এককের যত গুণ, সেই সংখ্যাকে ঐ উৎসের ক্যান্ডেল পাওয়ার বা দীপশক্তি (candle power) বলে।

(ii) আলোক-প্রবাহের একক : আলোক-প্রবাহের একক লুমেন। এক ক্যান্ডেলা দীপন-প্রাবল্য-সম্পন্ন কোন বিন্দু-উৎস প্রতি ঘনকোণে (solid angle) প্রতি সেকেন্ডে যে-আলোক-প্রবাহ পাঠায় তাহাই এক লুমেন।

এক ক্যান্ডেলা দীপন-প্রাবল্য-সম্পন্ন বিন্দু-উৎসকে কেন্দ্র করিয়া উহার চতুর্দিকে একক ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট কোন গোলক কল্পনা করা হইল। ঐ গোলকের আভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া কেন্দ্রস্থ বিন্দু-উৎস প্রতি সেকেন্ডে যে-আলো পাঠায় তাহাই এক লুমেন। উক্ত গোলকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল  $4\pi$  বলিয়া স্পষ্টতই দেখা যাইতেছে যে, এক ক্যান্ডেলা দীপন-প্রাবল্য-সম্পন্ন বাতি হইতে প্রতি সেকেন্ডে  $4\pi$  লুমেন আলোক-প্রবাহ নির্গত হয়।

(iii) দীপনমাত্রার একক : মেট্রিক পদ্ধতিতে দীপনমাত্রার একক হইল লাক্স (lux)। কোন তলের উপর প্রতি বর্গমিটার স্থানে লম্বভাবে প্রতি সেকেন্ডে এক লুমেন আলো পড়িলে ঐ তলের দীপনমাত্রাকে এক লুমেন/বর্গমিটার বা লাক্স বলে।

কোন তলের উপর লম্বভাবে প্রতি বর্গফুটে প্রতি সেকেন্ডে এক লুমেন আলো আপতিত হইলে ঐ তলের দীপনমাত্রাকে ফুট-ক্যান্ডেল বা এক লুমেন/বর্গফুট বলা হয়।

এক বর্গ সেন্টিমিটার স্থানে লম্বভাবে সেকেন্ডে এক লুমেন আলো পড়িলে ঐ স্থানের দীপনমাত্রাকে ফট (phot) বা এক লুমেন/বর্গ সেন্টিমিটার বলা হয়।

কাজেই, 1 ফট =  $10^4$  লাক্স

(iv) ঔজ্জ্বল্যের একক : সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ঔজ্জ্বল্যের একক ক্যান্ডেলা/



নোল্টমিটার<sup>১</sup>। ইহাকে স্টিলব (stilb) বলা হয়। এম. কে. এস. পদ্ধতিতে উজ্জ্বলের একক ক্যান্ডেলা/মিটার<sup>২</sup>। ইহাকে নিট (nit) বলা হয়।  
কাজেই, 1 স্টিলব =  $10^4$  নিট

## 2.4 বিন্দু উৎসের দ্বারা আলোকিত তলের দীপনমাত্রা (Illumination due to a point source)

কোন বিন্দু-উৎসের দ্বারা আলোকিত তলের দীপনমাত্রা তিনটি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল। যথা—(1) উৎসের দীপন-প্রাবল্য, (2) উৎস ও আলোকিত তলের দূরত্ব এবং (3) আলোক-রশ্মির সহিত তলের অভিলম্বের আনতি কোণ।

উৎসের দীপন-প্রাবল্য  $I$  ক্যান্ডেলা হইলে উহা হইতে প্রতি সেকেন্ডে মোট  $4\pi I$  লুমেন-আলো নির্গত হয়। ইহাকে ঘিরিয়া  $r$ -ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করা হইল। এই গোলকের ক্ষেত্রফল  $4\pi r^2$ । প্রতি সেকেন্ডে গোলকের পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্র-ফলের উপর যে-পরিমাণ আলো আসিয়া পড়িতেছে তাহাই ঐ পৃষ্ঠের দীপনমাত্রা ( $E$ )।

$$\therefore E = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2} \quad \dots (2.4)$$

সুতরাং, দূরত্ব নির্দিষ্ট থাকিলে বলা যায়, দীপনমাত্রা উৎসের দীপন-প্রাবল্যের সমানুপাতিক।

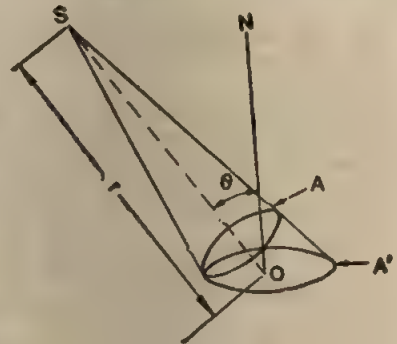
বিন্দু-উৎস হইতে  $r_1$  এবং  $r_2$  দূরত্বে দীপনমাত্রা যথাক্রমে  $E_1$  এবং  $E_2$  হইলে

$$E_1 = \frac{I}{r_1^2} \text{ এবং } E_2 = \frac{I}{r_2^2}$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

অর্থাৎ, দীপনমাত্রা উৎসের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

রশ্মির আনতির ফল (Effect of obliquity): মনে করি, একটি উৎস  $S$  হইতে নির্গত হইয়া একটি আলোক-শঙ্কু  $r$  দূরত্বে অবস্থিত  $A$  ক্ষেত্রফল-বিশিষ্ট একটি তলের উপর লম্বভাবে আপতিত (চিত্র 2.2) হইয়াছে।  $A'$  অপর একটি ক্ষেত্রফল, উহা শঙ্কুর উপরে একই দূরত্বে  $A$  ক্ষেত্রের সহিত  $\theta$  কোণ করিয়া অবস্থিত। অর্থাৎ,  $A'$  ক্ষেত্রের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের সহিত আপতিত রশ্মি  $\theta$  কোণে আনত।



চিত্র 2.2

সুতরাং বলা যায়,  $A = A' \cos \theta$   
উৎস  $S$ -এর দীপন-প্রাবল্য  $I$  হইলে

$A$  ক্ষেত্রের দীপনমাত্রা হইবে  $E = I/r^2$

সুতরাং,  $A$  ক্ষেত্রের উপর আপতিত আলোর পরিমাণ

$$F = E \times A = \frac{I \times A}{r^2} = \frac{I \cos \theta A'}{r^2} \quad [\text{যেহেতু, } A = A' \cos \theta]$$

একই-পরিমাণ আলো  $A'$  ক্ষেত্রের উপরও আপতিত হইতেছে। সুতরাং সংজ্ঞানুসারে  $A'$  ক্ষেত্রের দীপনমাত্রা,

$$E' = \frac{F}{A'} = \frac{I \cos \theta}{r^2} \quad \dots (2.5)$$

ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, কোন তলের দীপনমাত্রা আপতিত রশ্মির সহিত আলোচ্য তলের অভিলম্বের আনতি-কোণের কোসাইনের সমানুপাতিক।

## 2.5 দীপ্তিমিতির মূলনীতি (Principle of photometry)

দুইটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্যের তুলনা করাই দীপ্তিমিতির প্রধান কাজ। চোখের সাহায্যে সরাসরি কোন উৎসের দীপন-প্রাবল্য মাপা যায় না। কিন্তু পাশাপাশি রাখিত দুইটি আলোকিত তলের উজ্জ্বলতার সামান্য পার্থক্যও চোখে ধরা পড়ে।

দুইটি উৎসের দীপন-প্রাবল্যের তুলনা করিবার জন্য পাশাপাশি রাখিত দুইটি তলের একটিকে প্রথম উৎস দ্বারা এবং অপরটিকে দ্বিতীয় উৎস দ্বারা আলোকিত করিয়া এবং যে-কোন একটি উৎসের দূরত্ব বদলাইয়া দুইটি তলের দীপনমাত্রা সমান করা হয়। ইহাই দৃষ্টানির্ভর দীপ্তিমিতির (visual photometry) মূলনীতি।

আলোকিত তলদ্বয়ের দীপনমাত্রা সমান হইলে লেখা যায়,  $E_1 = E_2$  ... (i)

উভয় তলের উপর আলো  $\theta$  কোণে আপতিত হইলে সমীকরণ 2.5 হইতে লেখা যায়,

$$E_1 = \frac{I_1 \cos \theta}{d_1^2} \text{ এবং } E_2 = \frac{I_2 \cos \theta}{d_2^2} \quad \dots (ii)$$

এখানে  $I_1$  এবং  $I_2$  পর্দার অভিমুখে পরীক্ষাধীন উৎসদ্বয়ের দীপন-প্রাবল্য,  $d_1$  এবং  $d_2$  আলোকিত তল হইতে উহাদের দূরত্ব। (i) ও (ii) হইতে পাই,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad \dots (2.6)$$

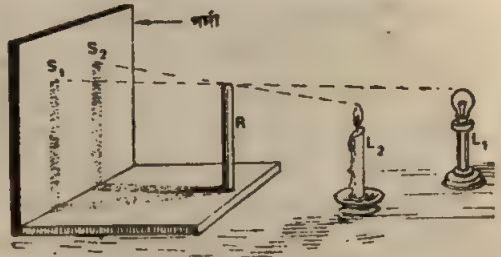
এই সমীকরণের সাহায্যেই দুইটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্যের তুলনা করা হয়।

## 2.6 দীপনমাপক যন্ত্র (Photometers)

দুইটি উৎসের দীপন-প্রাবল্যের তুলনা করিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। যে-কোন একটি উৎসের দীপন-প্রাবল্য জানা থাকিলে অন্যটির দীপন-প্রাবল্যের মান নির্ণয় করা যায়। নিম্নে আমরা তিনটি দীপনমাপক যন্ত্রের কার্যপদ্ধতি আলোচনা করিব।

(a) রামফোর্ডের ছায়া দীপনমাপক (Rumford's shadow photometer) : এই ফটোমিটারে একটি ঘষা কাচ বা কাগজের সাদা পর্দার সম্মুখে একটি অল্প দৃশ্য দণ্ড [R] ঝাড়াভাবে বসান থাকে [চিত্র 2.3]। যে-দুইটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্য তুলনা করিতে হইবে ( $L_1$  এবং  $L_2$ ) উহাদিগকে দণ্ডের সম্মুখে এমনভাবে রাখা হয় বাহ্যতে উহারা উভয়েই পর্দা S-এর উপর দণ্ডের একটি করিয়া ছায়া ফেলে। এই ছায়া

দুইটি পর্দার উপর পাশাপাশি থাকে।  $L_1$  উৎস পর্দার উপর R-দণ্ডের যে-ছায়া ( $S_1$ ) সৃষ্টি করে  $L_2$  উৎস হইতে আগত আলো আসিয়া উহার উপর পড়ে। অনুরূপভাবে,  $L_2$  উৎস পর্দার উপর R-দণ্ডের যে-ছায়া ( $S_2$ ) সৃষ্টি করে  $L_1$  উৎস হইতে আগত আলো আসিয়া উহার উপর পড়ে। পর্দার বাকি অংশে উভয় বাতিই আলো ফেলে।



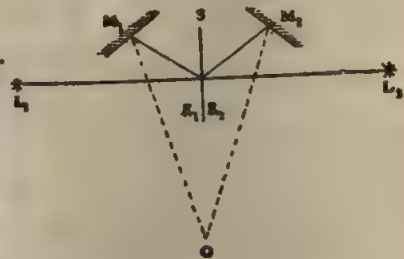
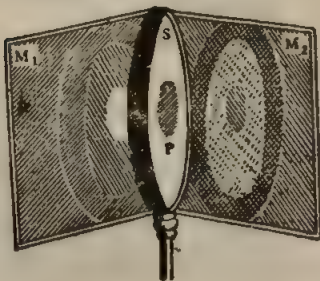
চিত্র 2.3

পর্দা হইতে বাতি দুইটির দূরত্ব বাড়াইয়া-কমাইয়া উহাদিগকে এমন অবস্থানে রাখা হইল বাহাতে পর্দার উপর উভয় ছায়ার কৃষ্ণতা (darkness) সমান হয়। এই অবস্থায় বলা যাইতে পারে যে, পর্দায় উভয় বাতি সমান দীপনমাত্রার সৃষ্টি করিয়াছে। এই সময় পর্দা হইতে  $L_1$  এবং  $L_2$  বাতির দূরত্ব যথাক্রমে  $r_1$  এবং  $r_2$  হইলে লেখা যাইবে

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2} \text{ বা, } \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

এখানে  $I_1$  এবং  $I_2$  যথাক্রমে  $L_1$  এবং  $L_2$  বাতির দীপন-প্রাবল্য। এই দীপনমাপকটি ব্যবহার করিয়া দুইটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্য তুলনা করিবার সময় ঘরে অন্য কোন আলোক-উৎস থাকা বাঞ্ছনীয় নয়। অর্থাৎ, এই দীপনমাপকটিকে অন্ধকার ঘরে ব্যবহার করিতে হয়।

(b) বুনসেন দীপনমাপক (Bunsen photometer) : ইহার প্রধান অংশ একটি পার্চমেন্ট কাগজের পর্দা (S), ইহার মাঝখানে একটি তৈলচিহ্ন (grease spot) P থাকে (চিত্র 2.4)। পার্চমেন্টের পর্দায় আলো পড়িলে তৈলচিহ্নের মধ্য দিয়া কিছু পরিমাণ আলো অপর দিকে চলিয়া যায়, কারণ ইহা আংশিকভাবে স্বচ্ছ। বাকি অংশ



চিত্র 2.4

হইতে আপতিত আলো প্রায় সবটাই ফিরিয়া আসে। সুতরাং, পার্চমেন্টের পর্দার উপর একপাশ হইতে আলো ফেলিয়া অপর দিক হইতে উহার দিকে তাকাইলে তৈলচিহ্নটিকে



পর্দার অপর অংশ হইতে উজ্জ্বলতর দেখাইবে কিন্তু উৎসের দিক হইতে তাকাইলে তৈলচিহ্নটিই অপর অংশের তুলনায় স্নান দেখাইবে।

পরীক্ষাধীন উৎস দুইটিকে পর্দার দুই পাশে রাখা হয়। ইহার পর উৎসদ্বয়ের একটির দূরত্ব পরিবর্তন করা হয়, যতক্ষণ না তৈলচিহ্ন এবং পর্দার অপর অংশ সমান উজ্জ্বল দেখায়। এই সময় পর্দার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান।

**মূলতত্ত্ব :** মনে করি, আপতিত আলোর  $r$ -ভগ্নাংশ তৈলচিহ্নের মধ্য দিয়া অপর পার্শ্ব যায়। সুতরাং তৈলচিহ্ন-কর্তৃক প্রতিফলিত হয় আপতিত আলোর বাকি অংশ, অর্থাৎ  $(1-r)$ -ভগ্নাংশ (এখানে পর্দার আলোর শোষণ উপেক্ষা করা হইয়াছে)।

পরীক্ষাধীন উৎস,  $L_1$  এবং  $L_2$  দ্বারা আলোকিত পর্দার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা  $E_1$  এবং  $E_2$  হইলে  $2.4$  নং চিত্রানুসারে  $L_2$  উৎসের দিক হইতে তৈলচিহ্নের দীপনমাত্রা  $= E_1 r + E_2 (1-r)$

পর্দার বাকি অংশের দীপনমাত্রা  $E_2$ । যখন পার্শ্বদ্বয়ের পর্দার তৈলচিহ্নের দীপনমাত্রা উহার বাকি অংশের দীপনমাত্রার সমান হইবে তখন এই দুই অংশকে আলাদা বলিয়া মনে হইবে না।

$$\text{এই অবস্থায়, } E_2 = E_1 r + E_2 (1-r) \quad \dots (ii)$$

$$\text{বা, } E_1 = E_2 \quad \dots (iii)$$

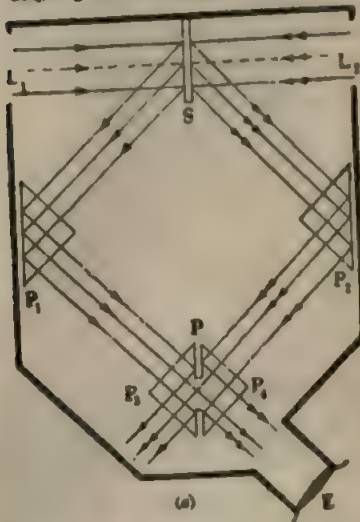
$$\text{বা, } I_1/d_1^2 = I_2/d_2^2 \quad \dots (iv)$$

$$\text{অর্থাৎ, } I_1/I_2 = d_1^2/d_2^2 \quad \dots (v)$$

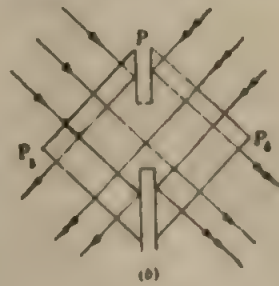
এখানে  $I_1$  এবং  $I_2$  যথাক্রমে  $L_1$  এবং  $L_2$  উৎসের দীপন-প্রাবল্য এবং  $d_1$  ও  $d_2$  যথাক্রমে পর্দা হইতে ইহাদের দূরত্ব।  $d_1$  এবং  $d_2$  দূরত্ব মাপিয়া দুইটি উৎসের দীপন-প্রাবল্যের অনুপাত  $I_1/I_2$  নির্ণয় করা যায়। ইহাদের একটির দীপন-প্রাবল্য জানা থাকিলে অন্যটির দীপন-প্রাবল্য স্থির করা যায়। উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, প্রকৃতপক্ষে তৈলচিহ্ন কখনই পর্দার বাকি অংশের সঙ্গে সমান উজ্জ্বল হইয়া অদৃশ্য হইয়া যায় না। পর্দার উভয় পার্শ্ব হইতে ইহার বাকি অংশের সহিত তৈল চিহ্নের উজ্জ্বলতার তুলনামূলক সমান মনে হইলে বুঝিতে হইবে যে, পর্দার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হইয়াছে। পর্দার উভয় পার্শ্ব বাহ্যতে একই সঙ্গে দেখা যায় সেইজন্য পর্দার উভয়দিকে একটি করিয়া দর্পণ ( $M_1$  এবং  $M_2$ ) রাখা হয়।

(c) লুম্মার-ব্রডহুন দীপনমাপক (Lummer-Brodhun photometer) : 2.5 নং চিত্রে এই দীপনমাপকের বিভিন্ন অংশ দেখান হইয়াছে। এই যন্ত্রের প্রধান অংশ হইল দুইটি সমাধিবাহু সমকোণী প্রিজম  $P_1$  এবং  $P_2$ । ইহাদের অভিলম্ব তল দুইটির মাঝামাঝি খানিকটা গোল অংশ কানাডা ব্যালসাম (canada balsam) দ্বারা দৃঢ়ভাবে আটকান। কিন্তু বাকি অংশে তল দুইটির মধ্যে একটি পাতলা বায়ুস্তরের ব্যবধান থাকে।  $S$  একটি বিক্ষেপক পর্দা। যে-দুইটি আলোক-উৎসের তুলনা করিতে হইবে উহারা  $S$ -পর্দার দুই পার্শ্ব থাকে।  $L_1$  এবং  $L_2$  আলোক-উৎস হইতে আগত রশ্মি পর্দার দুই পার্শ্ব লম্বভাবে আপতিত হয়।  $L_1$  হইতে আগত আলো সাদা পর্দার বামদিক হইতে বিক্ষিপ্ত হইয়া একটি পূর্ণ প্রতিফলক সমকোণী প্রিজম  $P_1$ -এর উপর পড়ে এবং উহার দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া  $P_2$  প্রিজমের উপর পড়ে। আপতিত আলোর যতখানি

মাকের গোল অংশে (যে-অংশে  $P_3$  এবং  $P_4$  প্রিজমের পরস্পরের সহিত যুক্ত) পড়ে তাহা  $P_4$ -এর মধ্য দিয়া সোজা বাহির হইয়া অভিনেত্র (eye-piece) E-এর উপর পড়ে।



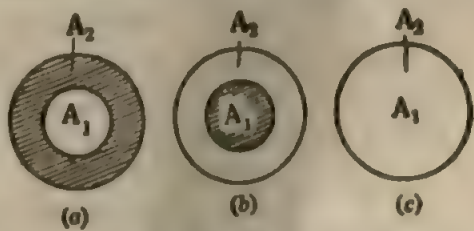
চিত্র 2.5



$L_1$  হইতে আগত আলোর যে-অংশ  $P_3$  এবং  $P_4$ -এর স্পর্শতলের বলয়াকৃতি বায়ুস্তরে আপতিত হয় সে অংশে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া যায়। আবার,  $L_2$  হইতে আগত আলোক-রশ্মি প্রথমে S-পর্দার পড়িয়া বিকস্মিতভাবে প্রতি-

ফলিত হয়। ইহার এক অংশ  $P_3$  প্রিজম দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া  $P_4$  প্রিজমের মধ্যে প্রবেশ করে এবং যে-অংশ বলয়াকৃতি বায়ুস্তরের উপর পড়ে তাহা প্রতিফলিত হইয়া E-এর উপরে পড়ে।  $L_2$  হইতে আগত আলোর যে-অংশ  $P_3$  ও  $P_4$ -এর স্পর্শতলের মাঝখানে (যেখানে উহারা পরস্পর যুক্ত) পড়ে সেই অংশ সোজা বাহির হইয়া যায়, E-তে আসিবার সুযোগ পায় না।

$P_3$  ও  $P_4$  প্রিজমের সংযোগ তলের উপর অভিনেত্র E-কে ফোকাস করা থাকে। এই অবস্থার দর্শনক্ষেত্রের (field of view) মধ্যবর্তী অংশ  $L_1$ -উৎস হইতে আগত আলোর দ্বারা এবং বাকি বলয়াকৃতি অংশ  $L_2$  উৎস হইতে আগত আলোর দ্বারা আলোকিত দেখা যাইবে। সাদা পর্দা S-এর দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান না হইলে মধ্যবর্তী বৃত্তাকার অংশ ( $L_1$  দ্বারা আলোকিত) এবং বাকি বলয়াকার ( $L_2$  দ্বারা আলোকিত) অংশের সীমারেখা স্পষ্ট বুঝা যায়। দুই অংশের দীপনমাত্রা আলাদা হয় বলিয়া এইরূপ ক্ষেত্রে দর্শনক্ষেত্র দুইটি অংশে বিভক্ত দেখা যাইবে। S-পর্দার তান পৃষ্ঠের দীপনমাত্রা ( $L_1$  দ্বারা আলোকিত) উহার বাম পৃষ্ঠের দীপনমাত্রা অপেক্ষা কম হইলে দর্শনক্ষেত্রের মধ্যবর্তী



চিত্র 2.6

গোলাকার অংশ ( $A_1$ )-কে বাকি অংশ ( $A_2$ ) অপেক্ষা উজ্জ্বলতর দেখাইবে (চিত্র 2.6(a))।

অনুবৃত্তভাবে S-পর্দার ডান পৃষ্ঠের দীপনমাত্রা যদি উহার বাম পৃষ্ঠের দীপনমাত্রা অপেক্ষা বেশি হয় তাহা হইলে দর্শনক্ষেত্র 2.6 b) চিত্রের অনুরূপ হইবে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে মধ্যবর্তী বৃত্তাকার অংশ অপেক্ষা উহার চারিপার্শ্বের বলস্রাকৃতি অংশ উজ্জ্বলতর হইবে। যদি S-পর্দার উভয় পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হয় তাহা হইলে দর্শনক্ষেত্রের দুই অংশকে পৃথক বলিয়া বোধ হইবে না অর্থাৎ,  $A_1$  এবং  $A_2$  অংশদ্বয়ের সীমারেখা অদৃশ্য হইয়া যাইবে। এক্ষেত্রে, দর্শনক্ষেত্রটি চিত্র 2.6 (c) অনুরূপ হইবে।

এই অবস্থায় S-পর্দা হইতে উৎসস্থলের দূরত্ব  $r_1$  এবং  $r_2$  হইলে লেখা যায়,

$$I_1/r_1^2 = I_2/r_2^2 \text{ অর্থাৎ, } I_1/I_2 = r_1^2/r_2^2$$

সুতরাং, দূরত্ব  $r_1$  এবং  $r_2$  মাপিয়া উৎসস্থলের দীপন-প্রাবল্যের অনুপাত নির্ণয় করা যায়। ইহাদের যে-কোন একটি দীপন-প্রাবল্য জানা থাকিলে অপরটির দীপন-প্রাবল্য নির্ণয় করা যায়। বুনসেন দীপনমাপক অপেক্ষা এই দীপ্তিমাপকটি অধিকতর সুবেদী (sensitive)।

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

**উদাহরণ 2.1** একটি বৈদ্যুতিক বাতির দীপন-ক্ষমতা (luminous efficacy) প্রতি ওয়াটে 15 লুমেন। (i) বাতিটির ক্ষমতা 100 W হইলে ইহার দীপনপ্রাবল্য কত? (ii) এই বাতিটিকে একটি অনুভূমিক টেবিলের 2 m উপরে স্থাপন করিলে ঐ বাতির ঠিক নিচে টেবিলের তলে দীপনমাত্রা কত হইবে? ধরিয়া লও যে, বাতিটি সকল দিকে সমানভাবে আলো নিঃসৃত করে।

**সমাধান :** (i) বাতিটির দীপন-ক্ষমতা = 15 লুমেন/ওয়াট

∴ এই বাতি হইতে নিঃসৃত মোট আলোক-প্রবাহ,  $F = 15 \frac{\text{লুমেন}}{\text{ওয়াট}} \times 100 \text{ ওয়াট}$

( কেননা, বাতির ক্ষমতা 100 W )

বা,  $F = 1500 \text{ লুমেন}$

বাতিটির দীপন-প্রাবল্য 1 cd হইলে লেখা যায়,

$$F = 4\pi I$$

$$\therefore \text{বাতির দীপন-প্রাবল্য, } I = \frac{F}{4\pi} = \frac{1500}{4\pi} \text{ cd} = 119.4 \text{ cd}$$

(ii) এই বাতির 2 m নিচে টেবিলের উপর দীপনমাত্রা,

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{119.4}{2^2} \text{ lux} = 29.85 \text{ lux}$$

**উদাহরণ 2.2** একটি বাতির দীপন-প্রাবল্য 120 cd। ইহা হইতে নিঃসৃত আলোক-প্রবাহের মান কত? এই বাতি হইতে 1.5 m দূরে 20 cm<sup>2</sup> আকারের একটি চাকৃতক আলোক-রশ্মির সহিত লম্বভাবে ধরিলে উহার উপর দীপনমাত্রা কত হইবে? এই চাকৃতকে আপতিত মোট আলোক-প্রবাহের মানই বা কত?

**সমাধান :** আমরা জানি যে, আলোক-প্রবাহ,  $F = 4\pi I$  ( $I$  = বাতির দীপন-প্রাবল্য)

এখানে  $I = 120 \text{ cd}$  বলিয়া লেখা যায়,

$$F = 4\pi \times 120 \text{ lumens} = 1507 \text{ lumens ( প্রায় )}$$



এ বাতি হইতে 1.5 m দূরে চাকতির উপরে দীপনমাত্রা,

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{120}{(1.5)^2} \text{ lux} = 53.33 \text{ lux}$$

চাকতির ক্ষেত্রফল (A) = 20 cm<sup>2</sup> = 20 × 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>

চাকতিটির উপর আপতিত আলোক-প্রবাহ বা দীপ্তপ্রবাহ

$$= \text{দীপনমাত্রা (E)} \times \text{ক্ষেত্রফল (A)}$$

$$= 53.33 \times (20 \times 10^{-4}) \text{ lumens} = 0.1067 \text{ lumens}$$

উদাহরণ 2.3 পরস্পর হইতে 60 cm দূরে অবস্থিত দুইটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবলের অনুপাত 4 : 9। একটি পর্দাকে উহাদের সংযোজী সরলরেখার উপর কোথায় রাখিলে উভয় উৎসের দ্বারা পর্দায় দীপনমাত্রা সমান হইবে? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

সমাধান : মনে করি, উৎসদ্বয়ের দীপনপ্রাবল্য যথাক্রমে I<sub>1</sub> এবং I<sub>2</sub>। তাহা হইলে প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{4}{9} \quad \dots (i)$$

ধরি, পর্দাটিকে প্রথম উৎস হইতে x cm দূরত্বে স্থাপন করিলে উভয় আলোক-উৎস-কর্তৃক পর্দায় দীপনমাত্রা সমান হয়। স্পষ্টতই, এ অবস্থায় দ্বিতীয় উৎস হইতে পর্দার দূরত্ব (60 - x) cm হইবে।

∴ প্রশ্নানুসারে লেখা যায়,

$$\frac{I_1}{x^2} = \frac{I_2}{(60-x)^2} \quad \text{বা,} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{x^2}{(60-x)^2} \quad \dots (ii)$$

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,

$$\frac{x^2}{(60-x)^2} = \frac{4}{9}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{x}{60-x} = \frac{2}{3} \quad \text{বা,} \quad 3x = 120 - 2x \quad \text{বা,} \quad x = 24$$

অর্থাৎ, প্রথম উৎস হইতে পর্দার দূরত্ব 24 cm এবং দ্বিতীয় উৎস হইতে পর্দার দূরত্ব, (60 - 24) বা, 36 cm।

উদাহরণ 2.4 একটি বৈদ্যুতিক বাতি একটি সমতল পৃষ্ঠকে আলোকিত করিয়াছে। এ বাতি হইতে 2m দূরত্বে অবস্থিত উক্ত সমতল পৃষ্ঠের কোন বিন্দুতে দীপনমাত্রা 5 × 10<sup>-4</sup> ফট (লুমেন/বর্গ সেন্টিমিটার)। এ বাতি হইতে উক্ত বিন্দু পর্যন্ত অঙ্কিত সরলরেখাটি পৃষ্ঠের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের সহিত 60° কোণে আনত। ক্যান্ডেলা (ক্যান্ডেল পাওয়ার) এককে বাতিটির দীপন-প্রাবল্য কত?

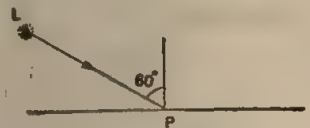
সমাধান : মনে করি, বাতির দীপন-প্রাবল্য = I<sub>0</sub> candela

বাতি হইতে আগত আলো P বিন্দুতে 60° কোণে আপতিত হয় বলিয়া এ বিন্দুতে দীপন-প্রাবল্য,

$$E = \frac{I_0}{r^2} \cos 60^\circ$$

$$\text{এখানে, } r = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm}$$

$$\therefore E = \frac{I_0}{(200)^2} \cos 60^\circ \text{ phot} \quad \dots (i)$$



চিত্র 2.7

শর্তানুসারে,  $E = 5 \times 10^{-4}$  phot

... (ii)

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,

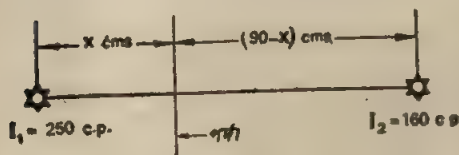
$$\frac{I_0}{(200)^2} \times \cos 60^\circ = 5 \times 10^{-4}$$

$$\text{বা, } \frac{I_0}{4 \times 10^4} \times \frac{1}{2} = 5 \times 10^{-4} \quad \text{বা, } I_0 = 40$$

কাজেই, বাতিটির দীপন-প্রাবল্য = 40 ক্যান্ডেলা

**উদাহরণ 2.5** 250 c.p. এবং 160 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট দুইটি বাতির মধ্যবর্তী দূরত্ব 90 cm। উহাদের মধ্যবর্তী কোন্ স্থানে পর্দা বসাইলে উহার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হইবে?

**সমাধান :** মনে করি, 250 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট বাতি হইতে  $x$  cm দূরত্বে পর্দা বসাইলে উহার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হয়। তাহা হইলে লেখা যায় (চিত্র 2.8 হইতে)



চিত্র 2.8

$$\frac{I_1}{x^2} = \frac{I_2}{(90-x)^2}$$

$$\text{বা, } \frac{250}{x^2} = \frac{160}{(90-x)^2}$$

$$\text{বা, } \left(\frac{90-x}{x}\right)^2 = \frac{16}{25}$$

$$\text{বা, } \frac{90-x}{x} = \frac{4}{5} \quad \text{বা, } x = 50 \text{ cm}$$

অর্থাৎ, 250 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট বাতি হইতে 50 cm দূরে পর্দা রাখিলে উহার উভয় পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হইবে।

**উদাহরণ 2.6** 50 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট একটি বাতিকে 200 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট অপর একটি বাতি হইতে 1.5 মিটার দূরে রাখা হইল। ইহাদের মধ্যে একটি বুনসেন দীপনমাপক যন্ত্র এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে উহার তৈলচিহ্নটি অদৃশ্য হইয়া গেল। অপেক্ষাকৃত কম উজ্জ্বল বাতিটিকে পর্দা হইতে আরও এক মিটার দূরে লইয়া যাওয়া হইল। পর্দাটি কতটা সরাইলে তৈলচিহ্নটি পুনরায় অদৃশ্য হইবে?

**সমাধান :** মনে করি, প্রথম ক্ষেত্রে বুনসেন দীপনমাপক যন্ত্রের তৈলচিহ্নটি হইতে 50 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট বাতির দূরত্ব  $x$  মিটার। সুতরাং,

$$\frac{50}{x^2} = \frac{200}{(1.5-x)^2} \quad \text{বা, } x = \frac{1}{3} \text{ m}$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বাতি দুইটির মধ্যবর্তী দূরত্ব  $= (1.5 + 1) = 2.5 \text{ m}$

ধরি, এই সময় তৈলচিহ্ন অদৃশ্য করিতে হইলে পর্দাকে 50 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট বাতি হইতে  $y$  মিটার দূরে রাখিতে হয়। সুতরাং,

$$\frac{50}{y^2} = \frac{200}{(2.5-y)^2} \quad \text{বা, } \frac{2.5-y}{y} = 2$$

$$\text{বা, } 3y = 2.5 \quad \text{বা, } y = \frac{5}{6} \text{ m}$$

200 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট বাতি হইতে প্রথম ক্ষেত্রে পর্দার দূরত্ব  $= (1.5 - 0.5) = 1 \text{ m}$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে 200 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট বাতি হইতে পর্দার দূরত্ব

$$= 2.5 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \text{ m}$$

$$\text{সূত্রাং, পর্দার সরণ} = (\frac{1}{2} - 1) = \frac{1}{2} \text{ m}$$

**উদাহরণ 2.7** একটি বৈদ্যুতিক বাতিক 75 cm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট অনুভূমিক বৃত্তাকার টেবিলের কেন্দ্রের ঠিক 2m উপরে স্থাপন করা হইল এবং ইহাতে টেবিলের পরিসীমায় 40 lux দীপনমাত্রা সৃষ্টি হইল। বাতিটি সকল দিকে সমানভাবে আলো নিঃসৃত করে এবং টেবিলে আপতিত আলোর শতকরা 50% প্রতিফলনজনিত—এইরূপ ধরিয়া বাতিটির দীপনমাত্রা নির্ণয় কর।

**সমাধান :** প্রশ্নানুসারে মোট দীপনমাত্রার শতকরা 50 ভাগ প্রতিফলনজনিত বলিয়া বাতি হইতে সরাসরি যে-আলো আসিয়া পড়ে উহার দ্রুত টেবিলের পরিসীমায় দীপনমাত্রা

$$= 0.50 \times 40 \text{ lux} = 20 \text{ lux}$$

সূত্রাং, বাতিটির দীপনমাত্রা I cd হইলে লেখা যায়,

$$20 \text{ lux} = \frac{I \cos \theta}{r^2} \quad \dots (i)$$

এখানে r হইল বাতি S হইতে টেবিলের পরিসীমার কোন বিন্দুর দূরত্ব এবং  $\theta$  হইল S হইতে ঐ বিন্দুতে আগত আলোক-রশ্মির আপতন কোণ (চিত্র 2.9)।

$$\text{চিত্রানুসারে, } r^2 = (2)^2 + (0.75)^2 = 4.5625$$

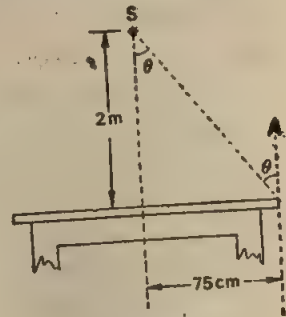
$$\text{এবং } \cos \theta = \frac{2}{\sqrt{4.5625}} = \frac{2}{2.136} = 0.936$$

(i) নং সমীকরণে r এবং  $\cos \theta$ -এর এই মান বসাইয়া

পাই,

$$20 = \frac{I \times 0.936}{4.5625}$$

$$\text{বা, } I = \frac{20 \times 4.5625}{0.936} = 97.49 \text{ cd}$$



চিত্র 2.9

**উদাহরণ 2.8** 180 ক্যান্ডেলা দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট কোন বাতি হইতে আলো আসিয়া 3m দূরত্বে অবস্থিত একটি তলে পড়িতেছে। আলোক-রশ্মিগুলি ঐ তলে (i) লম্বভাবে এবং

(ii)  $60^\circ$  কোণে আপতিত হইলে উক্ত তলে দীপনমাত্রা কত হইবে?

**সমাধান :** (i) আলোক-রশ্মি আলোচ্য তলে লম্বভাবে আপতিত হইলে,

$$\text{দীপনমাত্রা, } E = \frac{I}{r^2}$$

এখানে, I = বাতির দীপন-প্রাবল্য = 180 ক্যান্ডেল এবং  $r = 3 \text{ m}$

$$\therefore E = \frac{180}{3^2} = 20 \text{ lumens/m}^2 = 20 \text{ lux}$$

(ii) আলোক-রশ্মি আলোচ্য তলে  $60^\circ$  কোণে আপতিত হইলে,

$$\begin{aligned} \text{দীপনমাত্রা, } E &= \frac{I \cos \theta}{r^2} = \frac{180 \times \cos 60^\circ}{3^2} \text{ lumens/m}^2 \\ &= \frac{180 \times \frac{1}{2}}{9} = 10 \text{ lux} \end{aligned}$$



**উদাহরণ 2.9** একটি টেবিলের 200 cm উপরে একটি বৈদ্যুতিক বাতি জলিতেছে। যদি উহাকে 50 cm নিচে নামান হয় তবে বাতির ঠিক নিচে টেবিলের দীপনমাত্রা শতকরা বৃদ্ধি কত হইবে?

**সমাধান :** মনে করি, বাতিটির দীপন-প্রাবল্য =  $I$

কাজেই, প্রাথমিক অবস্থার টেবিলের দীপনমাত্রা,  $E_1 = \frac{I}{200^2}$

বাতিটিকে 50 cm নামাইলে দীপনমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে। এই সময় দীপনমাত্রা  $E_2$  হইলে লেখা যায়,

$$E_2 = \frac{I}{(200 - 50)^2} = \frac{I}{150^2}$$

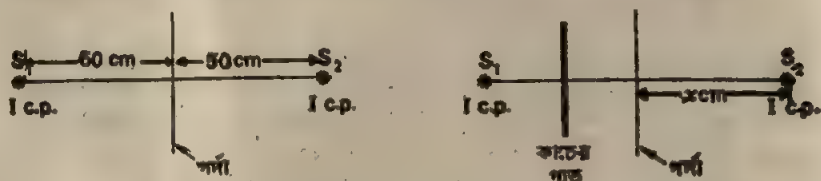
সুতরাং, দীপনমাত্রার শতকরা বৃদ্ধি =  $\frac{E_2 - E_1}{E_1} \times 100\%$

$$= \frac{I/150^2 - I/200^2}{I/200^2} \times 100 = 100 \left[ \left( \frac{200}{150} \right)^2 - 1 \right] = 77.77\%$$

**উদাহরণ 2.10** একটি দীপনমাপকের পর্দার দুই পাশে দুইটি সমান দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট দুইটি বাতি স্থাপন করা হইল,—পর্দা হইতে ইহাদের উভয়ের দূরত্ব 50 cm। বাতি দুইটির যে-কোন একটির সম্মুখে একটি কাচের পাত রাখা হইল। ইহার মধ্য দিয়া আপতিত আলোর 81% বাইতে পারে। দীপনমাপকের পর্দার উভয় পাশের দীপনমাত্রা সমান রাখিতে হইলে অপর বাতিটিকে কোথায় সরাইতে হইবে? [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980 ]

**সমাধান :** মনে করি, বাতি দুইটির উভয়ের দীপন-প্রাবল্য =  $I$  c.p.

যখন বাতি দুইটি পর্দা হইতে 50 cm দূরে রাখিয়াছে তখন পর্দার উভয় পাশের দীপনমাত্রা সমান হইবে। এইবার, একটি বাতির সম্মুখে একটি কাচের পাত স্থাপন করা হইল। প্রপের শর্তানুসারে, কাচের পাতের মধ্য দিয়া আপতিত আলোর 81% বাইতে পারে। কাজেই, ঐ বাতির কার্যকর দীপন-প্রাবল্য হইবে  $I \times 0.81$  c.p.



চিত্র 2.10

ধরি, এই সময় অপর বাতিটি পর্দা হইতে  $x$  cm দূরে অবস্থিত হইলে পর্দার উভয় পাশের দীপনমাত্রা সমান হয়।

$$\text{সুতরাং, } \frac{I \times 0.81}{50^2} = \frac{I}{x^2}$$

$$\text{বা, } x^2 = \frac{50^2}{0.81} \quad \text{বা, } x = \frac{50}{0.9} = 55.56 \text{ cm (প্রায়)}$$

অর্থাৎ, একটি বাতির সম্মুখে কাচের পাতটি স্থাপন করিবার পর পর্দার উভয় পাশের দীপনমাত্রা সমান রাখিতে হইলে অপর বাতিটিকে পর্দা হইতে (55.56 - 50) বা 5.56 cm দূরে সরাইতে হইবে।

**উদাহরণ 2.11** একটি অনুভূমিক তলের 4 ft উপরে দুইটি বাতি A এবং B-কে পরস্পর হইতে 3 ft দূরত্বে লাগান হইল। যখন কেবলমাত্র B বাতিটি জ্বালান হয় তখন উল্লম্বরেখা বরাবর B বাতির ঠিক নিচে অনুভূমিক তলে অবস্থিত বাতির দীপনমাত্রা 20 ft-candles ; যখন দুইটি বাতিই জ্বালান হয় তখন উক্ত বিন্দুতে দীপনমাত্রা 28 ft-candles। A এবং B বাতির দীপন-প্রাবল্য নির্ণয় কর।

**সমাধান :** মনে করি, A বাতির দীপনমাত্রা =  $I_A$

এবং B বাতির দীপনমাত্রা =  $I_B$

B বাতির অবস্থান হইতে আলোচ্য অনুভূমিক তলের উপর অঙ্কিত উল্লম্ব রেখা উক্ত তলকে P বিন্দুতে ছেদ করে ( চিত্র 2.11)। শর্তানুসারে,

$$\frac{I_B}{BP^2} = 20 \text{ ft-candles}$$

$$\text{বা, } \frac{I_B}{4^2} = 20 \quad \text{বা, } I_B = 320 \text{ cd}$$

যখন A এবং B—উভয় বাতিই দীপ্যমান তখন P বিন্দুর দীপনমাত্রা

$$\frac{I_B}{BP^2} + \frac{I_A \cos \theta}{AP^2} = 28 \text{ ft-candles}$$

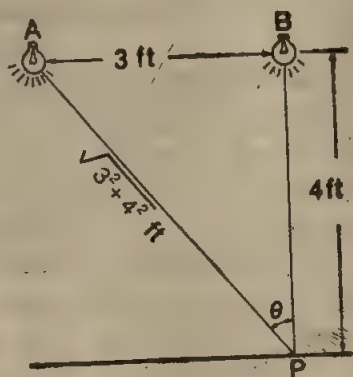
$$\text{বা, } \frac{320}{4^2} + \frac{I_A}{3^2 + 4^2} \cdot \frac{4}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = 28$$

$$\text{বা, } \frac{4 I_A}{125} = 28 - 20 = 8$$

$$\text{বা, } I_A = 250 \text{ cd}$$

অর্থাৎ, A এবং B বাতির দীপন-প্রাবল্য

স্বাক্ষরমে 320 ক্যান্ডেলা এবং 250 ক্যান্ডেলা।



চিত্র 2.11

### নার সংক্ষেপ

আলোকবিজ্ঞানের যে-শাখা আলোর পরিমাপ লইয়া আলোচনা করে তাহাকে দীপ্তিমিত্তি বলে। দীপ্তিমিত্তি সম্বন্ধীয় ভৌত রাশিগুলির মধ্যে আছে (i) আলোক-প্রবাহ, (ii) দীপন-প্রাবল্য, (iii) দীপনমাত্রা এবং (iv) উল্লম্বদল্য।

প্রতি সেকেন্ডে কোন আলোক-উৎস হইতে যে-পরিমাণ আলো বাহির হয় তাহাকেই উৎসের আলোক-প্রবাহ বলে। এখানে ‘আলো’ বলিতে আলোক-শক্তি বুঝাইতেছে না, ‘দর্শনানুভূতি সৃষ্টিকারী উত্তেজনা’ (visual stimulus) বুঝাইতেছে।

কোন আলোক-উৎস হইতে কোন নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রতি সেকেন্ডে প্রতি একক বনকোণে যে-পরিমাণ আলো প্রবাহিত হয় তাহাকে ঐ অভিমুখে উৎসের দীপনপ্রাবল্য বলা হয়। দীপন-প্রাবল্যের একক ক্যান্ডেলা বা আন্তর্জাতিক ক্যান্ডেল-পাওয়ার।

প্রাতিমামের গলনাঙ্কে কোন পূর্ণ বিকিরকের প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারের দীপন-প্রাবল্যের 60 ভাগের এক ভাগকে ক্যান্ডেলা বলা হয়।

আলোক-প্রবাহের একক হইল লুমেন। এক ক্যান্ডেলা দীপন-প্রাবল্যসম্পন্ন কোন বিন্দু-উৎস প্রতি ঘনকোণে সেকেন্ডে যে-আলোক-প্রবাহ পাঠায় তাহাকে এক লুমেন আলোক-প্রবাহ বলা হয়।

আলোকিত তলের কোন বিন্দুতে প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রতি সেকেন্ডে যে-পরিমাণ আলো আপতিত হয় তাহাকে ঐ বিন্দুতে দীপনমাত্রা বলা হয়।

মৈট্রিক পদ্ধতিতে দীপনমাত্রার একক হইল লুমেন/বর্গমিটার ( $\text{lumen/m}^2$ ) বা লাক্স ( $\text{lux}$ )। দীপনমাত্রার এফ. পি. এস. একক হইল লুমেন/বর্গফুট ( $\text{lumen/ft}^2$ ) বা ফুট-ক্যান্ডল ( $\text{foot-candle}$ )।

দীপনমাত্রার সি. জি. এস. একক হইল লুমেন/সেন্টিমিটার ( $\text{lumen/cm}^2$ ) বা ফট ( $\text{phot}$ )। ফট এবং লাক্স-এর সম্পর্কটি নিম্নরূপঃ

$$1 \text{ ফট} = 10^4 \text{ লাক্স}$$

কোন নির্দিষ্ট অভিমুখে যে-কোন উৎসের প্রতি একক অভিক্ষিপ্ত ক্ষেত্রফলের দীপন-প্রাবল্যকে ঐ অভিমুখে উৎসের ঔজ্জ্বল্য বলা হয়। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ঔজ্জ্বল্যের একক ক্যান্ডেলা/বর্গ-সেন্টিমিটার। ইহাকে স্টিল্‌ব্ ( $\text{stilb}$ ) বলা হয়। এম. কে. এস. পদ্ধতিতে ঔজ্জ্বল্যের একক ক্যান্ডেলা/বর্গমিটার বা নিট্ ( $\text{nit}$ )। স্টিল্‌ব্ এবং নিট্-এর সম্পর্ক নিম্নরূপঃ

$$1 \text{ স্টিল্‌ব্} = 10^4 \text{ নিট্}$$

কোন বিন্দু-উৎসের দ্বারা একটি তলের কোন বিন্দুতে দীপনমাত্রা (i) উৎসের দীপন-প্রাবল্য (I)-এর সমানুপাতিক, (ii) আপতন কোণের কোসাইন ( $\cos\theta$ )-এর সমানুপাতিক এবং (iii) উৎস হইতে উক্ত বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। কোন উৎসের দীপনমাত্রা I হইলে কোন তলে ঐ উৎস হইতে r দূরত্বে দীপনমাত্রা E-এর মান নিম্নের সূত্রাকরণ হইতে পাওয়া যায়ঃ

$$E = \frac{I \cos \theta}{r^2}$$

যে-সব যন্ত্রের সাহায্যে দুইটি উৎসের দীপন-প্রাবল্যের তুলনা করা যায় সে-সব যন্ত্রকে দীপনমাপক যন্ত্র বলা হয়। রামফোর্ডের ছায়া দীপনমাপক, বুনসেনের দীপনমাপক এবং লুমার-ব্রডহান দীপনমাপক যন্ত্রের সাহায্যে দুইটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্যের তুলনা করা যায় এবং ইহাদের যে-কোনটির দীপনপ্রাবল্য জানা থাকিলে অন্যটির দীপনমাত্রা নির্ণয় করা যায়। উক্ত যন্ত্রগুলির ব্যবহারকালে চোখে দেখিয়া পরীক্ষাধীন উৎসদ্বয়ের দ্বারা আলোকিত তলের দীপনমাত্রার তুলনা করিতে হয় বলিয়া ইহাদিগকে দীপনমাপক (visual photometer) বলা হয়।

প্রশ্নাবলী 2

### হৃদযন্ত্রের প্রশ্নাবলী

1. সার্চ লাইটের আলোর তীব্রতা বিবমবর্গীয় সূত্র (inverse square law) অনুসারে পরিবর্তিত হইবে বলিয়া মনে কর কি? যুক্তিসহ উত্তর দাও।



2. দিনের আলোর কোন বাড়ির সাদা দেওয়াল অপেক্ষা কাচের জানালাগুলির উজ্জ্বল্য কম দেখায় কেন ?

3. রাত্রিতে উজ্জসভাবে আলোকিত ঘর হইতে বন্ধ কাচের জানালার মধ্য দিয়া দেখা কষ্টসাধ্য ; কিন্তু ঘরের আলোগুলি নিভাইয়া দিলে অপেক্ষাকৃত সহজে দেখা যায়। ইহার কারণ কী ?  
[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1974]

4. বিন্দু৭৭ উৎসের দরুন কোন স্থানের দীপনমাত্রা উৎস হইতে ঐ স্থানের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয় কেন ?

5. লুমার-ব্রডহান ফটোমিটারে ব্যবহৃত সাদা পর্দাটির দুইপার্শ্ব সম্পূর্ণভাবে সদৃশ হওয়া প্রয়োজন কেন ?

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

6. (a) একটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্য এবং দীপনমাত্রার সংজ্ঞা দাও। ইহাদের একক কী এবং এই এককগুলি কীভাবে স্থির করা হয় ?

(b) দীপ্তিমিতির মূল তত্ত্বের ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

7. লুমেন কাহাকে বলে ? লুমেন ও লাক্সের পার্থক্য কি বুঝাইয়া দাও। দেখাও যে, দীপনমাত্রা আলোক-উৎস হইতে দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

8. কোন বিন্দু-উৎস-কর্তৃক আলোকিত তলের দীপনমাত্রা কোন্ কোন্ রাশির উপর নির্ভরশীল ? I দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট কোন বিন্দু-উৎস হইতে নির্গত আলো r দূরত্বে অবস্থিত কোন তলের উপর তির্যকভাবে পড়িলে ঐ তলের দীপনমাত্রা কত হইবে ?

9. (a) সংজ্ঞা লিখ : দীপন-প্রাবল্য ও দীপনমাত্রা [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978; 1982]। (b) বুনসেন দীপনমাপক যন্ত্র বর্ণনা করিয়া উহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। (c) দীপনমাত্রার ব্যস্তবর্গের সূত্র ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978]

10. দীপন-প্রাবল্য ও দীপনমাত্রা বলিতে কী বুঝ ? লুমার-ব্রডহান দীপনমাপক যন্ত্র বর্ণনা করিয়া কীভাবে দুইটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্যের তুলনা করা যায় বর্ণনা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

11. রামফোর্ডের ছায়া দীপনমাপকটির বর্ণনা দাও। ইহার সাহায্যে কীভাবে দুইটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্যের মানের তুলনা করা যায় ?

12. (a) কোন আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্য কোন্ এককে मापा হয় ?

(b) এই এককটির সংজ্ঞা লিখ।

(c) বুনসেন-ফটোমিটারের সাহায্যে কীভাবে দুইটি বাতির দীপন-প্রাবল্যের তুলনা করা যায় ?

13. দীপনমাত্রার ব্যস্তবর্গের সূত্রটি (inverse square law) প্রতিষ্ঠা কর। চিহ্নসহ একটি লুমার-ব্রডহান ফটোমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982]

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

14. একটি বাতি হইতে 4 ফুট দূরে 6 ফুট-ক্যান্ডেল দীপনমাত্রা প্রয়োজন। বাতিটির দীপন-প্রাবল্য কত হওয়া দরকার ? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1984] [96 cd]

15. একটি বিন্দু-উৎস হইতে 2763 লুমেন আলোক-প্রবাহ নিঃসৃত হয়। ইহার দীপন-প্রাবল্য কত? এই উৎসকে কেন্দ্র করিয়া কণ্ঠিত কোন গোলকের ব্যাসার্ধ 2.5 m হইলে ঐ গোলকের অভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠের দীপনমাত্রা নির্ণয় কর। [220 cd, 35.2 lux]

16. দুইটি আলোক-উৎসের দীপন-প্রাবল্যের অনুপাত 9 : 4, ইহারা পরস্পর হইতে 450 সেন্টিমিটার দূরে অবস্থিত। ইহাদের মধ্যে কোথায় একটি পর্দা রাখিলে পর্দার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হইবে? [উজ্জলতর উৎস হইতে 270 cm দূরে]

17. সমান দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট দুইটি আলোক-উৎস একটি পর্দার দুই বিপরীত পার্শ্বের পর্দা হইতে 100 cm এবং 150 cm দূরে অবস্থিত। পর্দার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রার অনুপাত নির্ণয় কর। [4 : 9]

18. দুইটি বাতি A এবং B কে পর্দার দুই পার্শ্ব বধাক্রমে 2 ft এবং 1 ft দূরে রাখিলে পর্দার উভয় পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হয়। 5 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট অপর একটি বাতি C কে A বাতিটির পার্শ্বে বসান হইল। দেখা গেল যে, A এবং C-কে পর্দা হইতে 3 ft দূরে লইয়া গেলে পুনরায় পর্দার উভয় পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হয়। A এবং B বাতির দীপন-প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর। [4 c.p. এবং 1 c.p.]

19. দুইটি বাতিকে দীপনমাপক যন্ত্রের পর্দা হইতে 120 cm এবং 80 cm দূরে রাখিলে পর্দার দুইপার্শ্ব সমানভাবে আলোকিত হয়। উজ্জলতর বাতিটিকে একটি ঘষা কাচের ঢাকনা দ্বারা আবৃত করায় দীপন-প্রাবল্য  $\frac{1}{4}$  অংশ কমিয়া গেল। পর্দার উভয় পার্শ্বের দীপনমাত্রার সমতা ফিরাইয়া আনিতে অপর বাতিটিকে কতদূর সরাইতে হইবে? [40 cm দূরে সরাইতে হইবে]

20. 30 ক্যান্ডেল-পাওয়ার দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট একটি বাতি হইতে কী পরিমাণ আলোক-প্রবাহ পাওয়া যাইবে? [376.8 lumens]

21. একটি বাতি একটি টেবিলের 120 cm উপরে ঝুলিতেছে। যদি উহাকে 30 cm নিচে নামান হয়, তাহা হইলে টেবিলের দীপনমাত্রার শতকরা বৃদ্ধি কত হইবে? [77.77%]

22. একটি বৈদ্যুতিক বাতি একটি সমতল পৃষ্ঠকে আলোকিত করিয়াছে। ঐ বাতি হইতে 2 m দূরত্বে অবস্থিত উক্ত সমতল পৃষ্ঠের কোন বিন্দুতে দীপনমাত্রা  $5 \times 10^{-4}$  ফট (lumens/cm<sup>2</sup>)। ঐ বাতি হইতে উক্ত বিন্দু পর্যন্ত অঙ্কিত সরলরেখাটি সমতল পৃষ্ঠটির উপর অঙ্কিত অভিলম্বের সহিত 60° কোণে আনত। ক্যান্ডেলা এককে বাতিটির দীপন-প্রাবল্য কত? [আই. আই. টি. অ্যাকাডেমি টেস্ট, 1980]

23. 60 c.p. দীপনমাত্রা-বিশিষ্ট একটি বাতিকে একটি ক্ষুদ্র পর্দা হইতে 6 ft দূরে রাখা হইল। পর্দার দীপনমাত্রা নির্ণয় কর। পর্দা হইতে 9 ft দূরে উহার সমান্তরালভাবে একটি সমতল দর্পণ রাখা হইল বাহ্যতে বাতিটি পর্দা ও দর্পণের মাঝামাঝি থাকে। পর্দার দীপনমাত্রার নতুন মান নির্ণয় কর। ধরিয়া লও যে, দর্পণটি উহাতে আপতিত আলোর সবটুকুই প্রতিফলিত করিয়া দেয়। [1.67 ft-candles, 2.08 ft-candles]

24. পাঁচটি সদৃশ বাতির সাহায্যে 4 ft দূরে অবস্থিত একটি পর্দাকে আলোকিত করা হইল। ইহাদের মধ্যে দুইটি বাতি নিভিয়া গেল। পর্দার দীপনমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিতে হইলে পর্দাটিকে কৌণিক কতটা সরাইতে হইবে? [বাতিগুলির দিকে 0.9 ft সরাইতে হইবে]

25. দুইটি বাতি A এবং B-কে একটি দীপনমাপক হইতে বধাক্রমে 4 m এবং 1 m দূরে রাখিলে পর্দার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হয়। এইবার 9 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট অপর একটি বাতি C-কে A-বাতির পাশে রাখা হইল। দেখা গেল যে, B-বাতিকে একই

স্থানে রাখিয়া A এবং C-কে পর্দা হইতে 5 m দূরে লইয়া গেলে পুনরায় পর্দার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হয়। A এবং B-বাত্তির দীপন-প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

[ সংস্করণের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ] [ 16 c.p., 1 c.p. ]

26.  $r$ -ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার তলবিশিষ্ট টেবিলের অক্ষ বরাবর একটি ল্যাম্প স্থাপিত আছে। ল্যাম্পটিকে কতটা উচ্চতায় রাখিলে টেবিলের ধারের দীপনমাত্রা উহার কেন্দ্রের দীপনমাত্রার এক-অর্ধমাংশ হইবে? [ আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1978 ] [  $r/\sqrt{3}$  ]

27. একটি নক্সা-অ'কিরের টেবিলকে উহার কেন্দ্রবিন্দুগামী অনুভূমিক অক্ষের সাপেক্ষে ঘোরান যায়। এই টেবিলটিকে উহার কেন্দ্র হইতে 4 ft উন্নত উচ্চতায় স্থাপন করিয়া একটি ছোট বাতি রাখা হয়। এই বাতিটিকে উহার অনুভূমিক অবস্থান হইতে  $30^\circ$  কাত করা হয় তবে টেবিলের কেন্দ্রের দীপনমাত্রার প্রাবল্যের শতকরা হ্রাস নির্ণয় কর।

$$[ \text{সমাধানের সংক্ষেপ} : E_1 = \frac{I}{r^2} \text{ এবং } E_2 = \frac{I \cos 30^\circ}{r^2}$$

$$\text{দীপনমাত্রার শতকরা হ্রাস} = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\%$$

$$= (1 - \cos 30^\circ) \times 100\% = 13.4\%$$

28. একটি বাতি হইতে 5 ft দূরে আপতিত আলোক-রশ্মির সহিত লম্বভাবে অবস্থিত একটি পর্দার দীপনমাত্রার মান 8 ft-candles হইলে বাতিটির দীপন-প্রাবল্য নির্ণয় কর। আপতিত আলোক-রশ্মির শতকরা 64 ভাগ অত্যন্ত করে (transmits) এইরূপ একটি কাচের পাতকে উক্ত পর্দা এবং বাতিটির মাঝামাঝি রাখা হইল। বাতিটিকে পর্দার দিকে কতটা আগাইয়া আনিলে পর্দার দীপনমাত্রা উহার পূর্ববর্তী মান 8 ft-candles-এর সমান হইবে?

[ 200 c.p., 1 ft ]

29. দুইটি বাতি A এবং B-কে পরস্পর হইতে 3 ft দূরে একটি অনুভূমিক তলের 4 ft উপরে স্থিরভাবে রাখা হইল। যখন কেবলমাত্র B বাতিটি জ্বালান হয় তখন উন্নতস্থানে বরাবর B-বাত্তির নিচে অনুভূমিক তলে অবস্থিত বিন্দুতে দীপনমাত্রা 10 ft-candles; যখন দুইটি বাতিই জ্বালান হয় তখন উক্ত বিন্দুতে দীপনমাত্রার মান 14 ft-candles। A এবং B বাতিটির দীপন-প্রাবল্য নির্ণয় কর।

[ 125 c.p., 160 c.p. ]

### অতিমাত্রার দীপ্তিমিত্তি প্রশ্নাবলী

30. 200 ক্যান্ডেলা দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট একটি বাতি 6 ft দূরবর্তী একটি তলকে আলোকিত করে। ঐ তলে আলোক-আপতন কোণ  $30^\circ$ । ঐ তলে দীপনমাত্রা কত হইবে? ঐ তলের দীপনমাত্রা বিগুণিত করিবার জন্য 400 ক্যান্ডেলা দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট অন্য একটি বাতি ব্যবহার করা হইল। যদি ইহা হইতে আগত আলো উক্ত তলে  $40^\circ$  কোণে আপতিত হয় তাহা হইলে বাতিটিকে ঐ তল হইতে কতটা দূরে রাখিতে হইবে?

[ লন্ডন বিশ্ববিদ্যালয় ] [ 4.81 ফুট-ক্যান্ডেল, 7.98 ft ]

31. দুইটি বাতি P এবং Q যখন একটি ফটোমিটারের পর্দা হইতে যথাক্রমে 60 cm এবং 30 cm দূরে থাকে তখন উহার পর্দাকে সমানভাবে আলোকিত করে। ফটোমিটার বেগের সহিত সমকোণে একটি সমতল দর্পণকে পর্দার বিপরীত দিকে Q বাতি হইতে 7.5 cm দূরে স্থাপন করা হইল। ইহাতে ফটোমিটারের পর্দার দীপনমাত্রার সাম্য ফিরাইয়া আনিবার



জন্য P বাতিটিকে পর্দার দিকে 9 cm আগাইয়া দিতে হয়। Q বাতির দীপন-প্রাবল্যের সহিত দর্পণ কর্তৃক গঠিত Q বাতির প্রতিবিম্বের কার্যকর দীপন-প্রাবল্যের তুলনা কর।

[গৌহাটি বিশ্ববিদ্যালয়, 1972]

32. একটি পর্দার এক পাশে উহার সহিত লম্বভাবে অবস্থিত একটি সরলরেখার 1 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট  $n$ -সংখ্যক বাতির সাহায্যে পর্দাটিকে আলোকিত করা হইল। পর্দা হইতে বাতিগুলির দূরত্ব যথাক্রমে 1 মিটার, 2 মিটার, 3 মিটার, ...,  $n$  মিটার। দেখাও যে, বাতির সংখ্যা যত বেশিই হোক না কেন, পর্দার দীপনমাত্রা 2 lux অপেক্ষা কম হইবে।

$$[ \text{সমাধানের ইঙ্গিত : পর্দার দীপনমাত্রা, } E = \frac{I_1}{r_1^2} + \frac{I_2}{r_2^2} + \frac{I_3}{r_3^2} + \dots + \frac{I_n}{r_n^2}$$

$$= \frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \dots + \frac{1}{n^2} \text{ lux}$$

$$< 1 + \frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{2 \cdot 3} + \dots + \frac{1}{(n-1) \cdot n} \text{ lux}$$

$$\text{বা, } E < 1 + \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) + \dots + \left(\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n}\right) \text{ lux}$$

$$\text{বা, } E < \left(2 - \frac{1}{n}\right) \text{ lux}$$

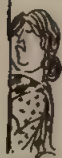
33. 60 cd দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট একটি বাতিকে একটি ক্ষুদ্র পর্দা হইতে 6 ft দূরে রাখা হইল। পর্দার দীপনমাত্রা নির্ণয় কর। পর্দা হইতে 9 ft দূরে উহার সমান্তরালভাবে একটি সমতল দর্পণ রাখা হইল বাহাতে বাতিটি পর্দা এবং দর্পণের মাঝামাঝি থাকে। পর্দার দীপনমাত্রার নূতন মান নির্ণয় কর। ধরিয়া লও যে, দর্পণটি উহাতে আপতিত আলোর সবটুকুই প্রতিফলিত করিয়া দেয়।

[2.083 ft-candles]

34. A এবং B—এই দুইটি ক্ষুদ্র বাতির প্রথমটিকে বুনসেন দীপনমাপক হইতে 60 cm দূরে বামদিকে এবং দ্বিতীয়টিকে উক্ত দীপনমাপক হইতে 100 cm দূরে ডানদিকে রাখিলে উহারা দীপনমাপকে একই দীপনমাত্রা সৃষ্টি করে। A বাতি হইতে 20 cm দূরে বামদিকে বেণ্ডের অক্ষের সহিত লম্বভাবে একটি বৃহদাকার পূর্ণ প্রতিফলক দর্পণ রাখা হইল বাহাতে দর্পণ হইতে প্রতিফলিত হইয়া আলো দীপনমাপকে পৌঁছে। ইহাতে দীপনমাপকের দুই পাশের দীপনমাত্রা অসমান হয়। B বাতিটিকে কতটা সরাইলে পুনরায় দীপনমাপকের দীপনমাত্রার সমান ফিরিয়া আসিবে? [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1972] [13.3 cm]

35. 64 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট বাতিকে দীপনমাপক যন্ত্রের এক পাশে পর্দা হইতে 4 ft দূরে স্থাপন করা হইল। অপর পাশে পর্দা হইতে 3 ft দূরে 81 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট বাতি রাখিয়াছে। যখন 81 c.p. দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট বাতি এবং পর্দার মধ্যবর্তী স্থানে 6 টি কাচের পাত রাখা হইল তখন পর্দার উভয় পাশের দীপনমাত্রা সমান হইল। প্রতিটি কাচের পাত হইতে আপতিত আলোর শতকরা কত ভাগ অন্তঃসৃত (transmitted) হয়? [87%]

36. 12 m ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার ক্রীড়াঙ্গনকে 1000 cd দীপন-প্রাবল্য-বিশিষ্ট 30টি বাতির সাহায্যে আলোকিত করা হইল। বাতিগুলিকে ক্রীড়াঙ্গনের পরিধি বরাবর ভূমি হইতে 5 ft দূরে স্থাপন করা হইয়াছে। ক্রীড়াঙ্গনের কেন্দ্রে দীপনমাত্রা নির্ণয় কর। [68.27 lux]



তৃতীয় পরিচ্ছেদ

## আলোর প্রতিফলন

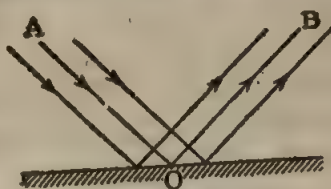
*Light ! Nature's resplendent robe ; without whose vesting  
beauty all were wrapt in gloom.*  
—Thomson

### 3.1 আলোর প্রতিফলন (Reflection of light)

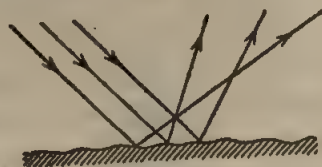
আলো একটি মাধ্যমের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হইয়া যদি দ্বিতীয় কোন মাধ্যমে আপতিত হয়, তবে দুই মাধ্যমের বিভেদতলে হইতে আলোর কিছু অংশ পুনরায় প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। ইহাকে আলোর প্রতিফলন বলে। আলোর প্রতিফলন দুই প্রকার—

(a) নিয়মিত প্রতিফলন ও (b) অনিয়মিত বা বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন।

আলো যখন কোন মসৃণ তলে আপতিত হয়, তখন প্রতিফলন কয়েকটি নির্দিষ্ট নিয়মে হইয়া থাকে [চিত্র 3.1 (a)]। এইরূপ প্রতিফলনকে নিয়মিত প্রতিফলন বলা হয়। সমতল বা গোলায় দর্পণে আলো পড়িলে নিয়মিত প্রতিফলন হয়। শান্ত জলের তল



নিয়মিত প্রতিফলন  
(a)



বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন  
(b)

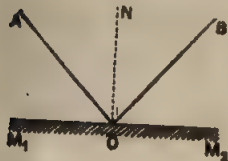
চিত্র 3.1

হইতেও নিয়মিত প্রতিফলন হইতে পারে। এইরূপ প্রতিফলনের সাহায্যে বস্তুর প্রতিবিম্ব (image) সৃষ্টি হয়। আলো যখন কোন অমসৃণ মাধ্যম-তলে আপতিত হয় তখন আপতিত আলো নানাদিকে ইতস্তত বিক্ষিপ্ত হয় [চিত্র 3.1 (b)]। এইরূপ প্রতিফলনকে বিক্ষিপ্ত বা অনিয়মিত প্রতিফলন বলা হয়। একটি সমান্তরাল রশ্মি মুছ কোন সমতল দর্পণে নিয়মিত প্রতিফলনের পর সমান্তরালভাবেই ফিরিয়া আসে, কিন্তু অনিয়মিত প্রতিফলনের পর উহা আর সমান্তরাল থাকে না। ঘর-বাড়ি, গাছপালা, ইট, কাঠ ইত্যাদি হইতে আলোর বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন হয়। বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনই বস্তু-জগৎকে আমাদের চোখে দৃশ্যমান করে। একটি ঘরের এক কোণায় একটি আলোক-উৎস থাকিলে উহার আলোর যে-কোন স্থানে দাঁড়াইয়া ঘরের সমস্ত বস্তুই দেখা যায়, কেননা প্রতিটি বস্তুর

উপর হইতেই আলো বিক্ষিপ্তভাবে প্রতিফলিত হইয়া সকল দিকে ছড়াইয়া পড়ে।  
নিয়মিত প্রতিফলন হইলে এইরূপ হইত না।

### 3.2 প্রতিফলন সম্বন্ধীয় কয়েকটি সংজ্ঞা।

3.2 নং চিত্রে  $M_1M_2$  একটি সমতল দর্পণ। AO-আলোক-রশ্মি ইহার উপর আপতিত হইয়া OB-পথে ফিরিয়া আসিয়াছে। O-বিন্দুতে  $M_1M_2$ -এর উপর ON লম্ব টানা হইল।



চিত্র 3.2

**আপতন বিন্দু**—কোন আলোক-রশ্মি দুইটি মাধ্যমের বিভেদ-তলের যে-বিন্দুতে আসিয়া আপতিত হয় তাহাকে আপতন বিন্দু বলা হয়। চিত্রে O-বিন্দুটি আপতন বিন্দু।

**অভিলম্ব**—আপতন বিন্দুতে প্রতিফলকের উপর অঙ্কিত লম্বকে বলা হয় অভিলম্ব। চিত্রে ON রেখাটি অভিলম্ব।

**আপতন কোণ**—আপতিত রশ্মি আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্বের সহিত যে-কোন উৎপন্ন করে তাহাকে আপতন কোণ বলা হয়। চিত্রে  $\angle AON$  আপতন কোণ।

**প্রতিফলন কোণ**—আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্বের সহিত প্রতিফলিত রশ্মি যে-কোন উৎপন্ন করে তাহাকে প্রতিফলন কোণ বলা হয়। চিত্রে  $\angle BON$  প্রতিফলন কোণ।

### 3.3 আলোক প্রতিফলনের সূত্রাবলী

(Laws of reflection of light)

আলোর নিয়মিত প্রতিফলন নিম্নোক্ত নিয়ম মানিয়া চলে।

**প্রথম সূত্র** : আপতিত রশ্মি, প্রতিফলন রশ্মি ও আপতন বিন্দুতে প্রতিফলকের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।

**দ্বিতীয় সূত্র** : আপতন কোণ এবং প্রতিফলন কোণ পরস্পর সমান।

প্রথম সূত্রটি আবিষ্কার করেন আরবদেশীয় পদার্থবিদ আলহাজেন (Alhazen)।  
দ্বিতীয় সূত্রটি সর্বপ্রথম সূত্রাকারে প্রকাশ করেন প্রখ্যাত গণিতজ্ঞ ইউক্লিড।

### 3.4 প্রতিফলনের সূত্রাবলীর পশ্চিপ্রেক্ষিতে নিম্নমিত এবং অনিয়মিত প্রতিফলন

আলোর অনিয়মিত প্রতিফলনের ক্ষেত্রে আলো সকল দিকে ছড়াইয়া পড়ে। ইহা হইতে মনে হইতে পারে যে, অনিয়মিত প্রতিফলনের ক্ষেত্রে প্রতিফলনের নিয়মগুলি খাটে না। কিন্তু আলোর অনিয়মিত বা বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন প্রকৃতপক্ষে প্রতিফলনের সূত্রগুলির পরিপন্থী নয়। প্রতিফলক তল অমসৃণ হইলে উহাতে আপতিত কোন সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের প্রতিটি রশ্মির আপতন কোণ সমান হয় না; কাজেই প্রতিফলন কোণও সমান হয় না। ইহারই ফলে আলো প্রতিফলনের পর চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে।

নিয়মিত প্রতিফলন এবং অনিয়মিত প্রতিফলনের একটি মৌলিক পার্থক্য প্রসঙ্গত লক্ষণীয়। কোন বস্তু বা আলোক-উৎস হইতে আগত আলো কোন মসৃণ তলে আপতিত হইলে আলোর নিয়মিত প্রতিফলন ঘটে। এইরূপ প্রতিফলনের ফলে বস্তুটির বা উৎসটির



প্রতিবিম্ব দেখা যায়। কিন্তু বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের ক্ষেত্রে বস্তুর বা আলোক-উৎসের প্রতিবিম্ব দেখা যায় না, এইরূপ প্রতিফলনে অমসৃণ প্রতিফলকটিই দৃশ্যমান হয়।

### ● সিনেমার পর্দা অমসৃণ এবং সাদা হয় কেন ?

অমসৃণ বস্তুর উপর আলো আপতিত হইলে ঐ আলোর বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন ঘটে। বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের ফলে আলো সকল দিকে ছড়াইয়া পড়ে বলিয়া ঐরূপ কোন বস্তুর উপর আলো পড়িলে উহাকে সকল দিক হইতেই দেখা যায়। সিনেমার পর্দা অমসৃণ বলিয়াই উহার উপর আলো পড়িলে প্রেক্ষাগৃহের সকল স্থানের দর্শকেরা ঐ পর্দায় সকল অংশ দেখিতে পায়।

সিনেমার পর্দা সাদা হইবার প্রধান কারণ হইল এই যে, সাদা বস্তু আলোর উত্তম প্রতিফলক। পর্দা সাদা হইলে উহাতে আপতিত আলোর সামান্য অংশই শোষিত হয়। ইহাতে পর্দায় প্রক্ষিপ্ত প্রতিবিম্বের উজ্জ্বল্য বেশি হয়। সাদা না হইয়া অন্য যে-কোন রঙের পর্দা ব্যবহার করিলে আপতিত আলোর বেশ কিছু পরিমাণ শোষিত হইত। ইহাতে পর্দায় প্রক্ষিপ্ত আলোর প্রতিবিম্বের উজ্জ্বল্য কমিয়া যাইত। ইহা ছাড়া, সিনেমার পর্দা সাদা না হইলে উহা হইতে সকল বর্ণের আলো সমভাবে প্রতিফলিত হইত না। ফলে, রঙীন চলচ্চিত্র দেখার সময় পর্দায় প্রতিক্ষিপ্ত ছবির সঠিক রঙ ফুটিয়া উঠিত না।

### 3.5 প্রতিবিম্ব (Image)

আলো যখন কোন বস্তু হইতে সরাসরি আমাদের চোখে আসিয়া পড়ে তখন আমরা ঐ বস্তুকে যথাস্থানে দেখি। কিন্তু বস্তু হইতে আগত আলোক-রশ্মি সরাসরি চোখে না আসিয়া যদি প্রতিফলিত কিংবা প্রতিসৃত হইয়া গতিপথ পরিবর্তন করিয়া চোখে আসিয়া পড়ে তবে বস্তুটিকে উহার নিজস্ব অবস্থান হইতে ভিন্ন কোন স্থানে দেখা যায়। এই নূতন অবস্থানে আমরা বাহা দেখি তাহা বস্তুর প্রতিবিম্ব।

**প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা :** যদি কোন বিন্দু হইতে নিঃসৃত আলোক-রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া অন্য কোন বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয় বা অপর কোন বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়, তবে দ্বিতীয় বিন্দুটিকে প্রথম বিন্দুর প্রতিবিম্ব বলে।

প্রতিবিম্ব দুই প্রকার, বস্তু—সদৃশ (real image) ও অসদৃশ (virtual image)। যখন কোন বিন্দু হইতে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া কোন বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয়, তখন দ্বিতীয় বিন্দুটিকে প্রথম বিন্দুর সদৃশ বলা হয়।

কোন বিন্দু হইতে অপসারী আলোক-রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া যদি অপর কোন বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় তবে ঐ দ্বিতীয় বিন্দুটিকে প্রথম বিন্দুর অসদৃশ বলে। বস্তু সদৃশ হইলে সমতল দর্পণ সর্বদা অসদৃশ গঠন করে।

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যায় যে, আলোর ক্ষয়ব্রহ্ম গতির ফলে সূর্য্যোদয় ক্যানেরার পর্দায় বস্তুর যে-প্রতিকৃতি পাওয়া যায় তাহাকে ‘প্রতিবিম্ব’ বলা যায় না।

### 3.6 সমতল দর্পণ-কর্তৃক অসদৃশ বিম্ব গঠন

মনে কর, MM' একটি সমতল দর্পণ এবং P একটি বিন্দু-উৎস (চিত্র 3.3)। PR-রশ্মি দর্পণের উপর লম্বভাবে আপতিত হইয়া RP-পথে ফিরিয়া আসিবে।

এক্ষেত্রে আপতন কোণ  $0^\circ$  বলিয়া প্রতিফলন কোণও  $0^\circ$  হইবে। PO অপর একটি আলোক-রশ্মি। উহা ON অভিলম্বের সহিত  $\angle PON$  কোণে আপতিত হইয়াছে। এই রশ্মি MM' দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া OQ পথে ফিরিয়া আসিবে। অনুরূপভাবে, PS-রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া ST পথে অগ্রসর হইবে। RP, OQ এবং ST—এই প্রতিফলিত রশ্মিগুলিকে দর্পণের অপর পার্শ্বের P'-বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। সংজ্ঞানুসারে, P'-বিন্দু P-বিন্দুর অসদৃশ। জ্যামিতির সাহায্যে সহজেই দেখান যান যে,

দর্পণ হইতে বস্তুর দূরত্ব = দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের

চিত্র 3.3  
দর্পণ।

$$\begin{aligned} \text{RP এবং CN সমান্তরাল বলিয়া,} \quad \angle OPR &= \angle PON & \dots & (i) \\ \text{এবং} \quad \angle QON &= \angle OP'R & \dots & (ii) \end{aligned}$$

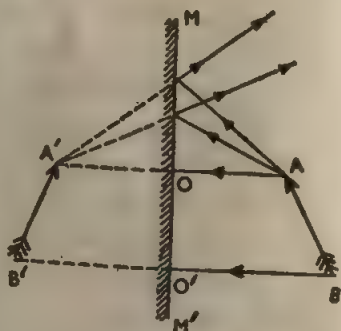
কিন্তু আপতন কোণ,  $\angle PON =$  প্রতিফলন কোণ,  $\angle QON$   
অতএব,  $\angle OPR = \angle OP'R$

$\triangle OPR$  এবং  $\triangle OP'R$  ত্রিভুজে, OR সাধারণ বাহু,  $\angle OPR = \angle OP'R$   
 $\angle ORP = \angle ORP'$ , কারণ ইহারা উভয়েই সমকোণ।

সুতরাং, ত্রিভুজের সর্বসম।  $\therefore RP = RP'$

সুতরাং, R হইতে P এবং P' সমান দূরে অবস্থিত। ইহা ছাড়া, PP'-রেখা দর্পণের উপর লম্বভাবে অবস্থিত; অর্থাৎ, কোন বিন্দু ও উহার প্রতিবিম্বকে একটি সরলরেখার দ্বারা যুক্ত করিলে ঐ রেখা সমতল দর্পণকে লম্বভাবে ছেদ করে।

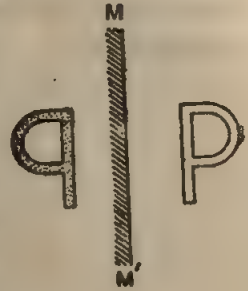
**বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব :** বস্তু বিন্দুবৎ না হইয়া আকারে বিস্তৃত হইলে উহার প্রতিবিম্ব কীরূপে পাওয়া যাইবে তাহা চিত্রে দেখান হইয়াছে। 3.4 নং চিত্রে AB একটি তীরাকৃতি বস্তু। ইহা MM' দর্পণের নিকট অবস্থিত। A বিন্দু হইতে MM'-এর উপর AO লম্ব টানি; লম্বের বিখিত অংশ হইতে OA-এর সমান করিয়া OA' দূরত্ব কাটিয়া লই। সুতরাং A' বিন্দুতে A বিন্দুর প্রতিবিম্ব। অনুরূপভাবে, দর্পণের উপর BO'B' লম্ব টানিয়া এবং BO'-এর সমান করিয়া O'B' কাটিয়া লইলে B'-বিন্দুই হইবে B-বিন্দুর প্রতিবিম্ব। A এবং B-এর মধ্যবর্তী প্রতিটি বিন্দুর প্রতিবিম্বই অনুরূপভাবে পাওয়া যাইবে।



চিত্র 3.4

সমতল দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্বের পার্শ্ব-পরিবর্তন (Lateral inversion) : সমতল দর্পণে যে-অসদৃশ গঠিত হয় বস্তুর সাপেক্ষে উহার পার্শ্ব-পরিবর্তন বিশেষভাবে লক্ষণীয়। 3.5 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে যে, ইংরাজীর 'p' অক্ষর পাশের দিকে উল্টাইয়া যাওয়া

প্রতিবিম্বটি 'Q'-এর আকার লইয়াছে। বস্তুর যে-কোন বিন্দু দর্পণের যতটা সামনে থাকে ঐ বিন্দুর প্রতিবিম্ব দর্পণের ঠিক ততটা পিছনে থাকে এবং কোন বিন্দু ও ইহার প্রতিবিম্বের সংযোজী সরলরেখা দর্পণের সাহিত লম্বভাবে অবস্থান করে—এই দুই কারণেই সমতল-দর্পণের দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব পার্শ্ব পরিবর্তন ঘটে।

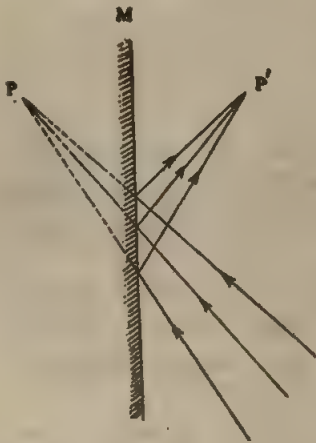


চিত্র 3.5

সমতল দর্পণে যে-অসদ্বিষ গঠিত হয় উহাতে ডান-বাম উল্টাইয়া যায়। সমতল দর্পণের সম্মুখে দাঁড়াইয়া ডান হাত নাড়াইলে আমরা প্রতিবিম্বের বাম হাত নড়িতে দেখি। প্রতিবিম্ব পার্শ্বসরণের দ্বনুই এইরূপ ঘটে।

### ● সমতল দর্পণ-কর্তৃক সদ্বিষ গঠিত হইতে পারে কি ?

সমতল দর্পণের সাহায্যে কোন সদৃ বস্তু (real object) বা বাস্তব বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে উহা সর্বদাই অসদৃ হয়। কিন্তু বস্তু যদি অসদৃ হয় তবে সমতল দর্পণ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব সদৃ হয়।



চিত্র 3.6

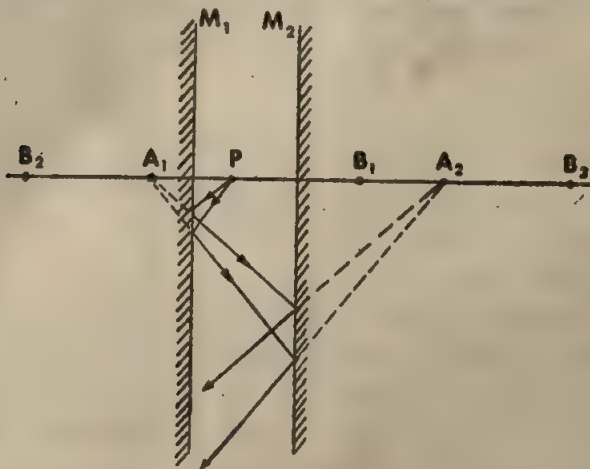
3.6 নং চিত্রে তাহা দেখান হইয়াছে। মনে করি, একটি অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ আসিয়া সমতল দর্পণে আপতিত হইল। দর্পণে আপতিত না হইলে এই রশ্মিগুচ্ছ P বিন্দুতে গিয়া মিলিত হইত। কিন্তু দর্পণে প্রতিফলনের পর এই রশ্মিগুচ্ছ P' বিন্দুতে গিয়া মিলিত হয়। এক্ষেত্রে P বিন্দুটিকে অসদৃবস্তু রূপে এবং P' বিন্দুটিকে ঐ অসদৃবস্তুর প্রতিবিম্ব রূপে কল্পনা করা যায়। P বিন্দু অভিমুখে অভিসারী রশ্মিগুলি MM' দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া P' বিন্দুতে গিয়া মিলিত হইয়াছে বলিয়া ইহা সদ্বিষ।

### 3.7 ছুইটি দর্পণে ক্রমিক প্রতিফলন (Successive reflections)

(i) দুইটি সমান্তরাল দর্পণ :  $M_1$  এবং  $M_2$  দুইটি সমান্তরাল দর্পণ। P উহাদের মধ্যবর্তী একটি স্বপ্রভ বিন্দু (চিত্র 3.7)। P হইতে  $M_1$  এবং  $M_2$ -এর উপর লম্ব টানিয়া উভয় দিকে বর্ধিত করা হইল। P-বিন্দুর প্রতিবিম্ব ঐ বিন্দু হইতে দর্পণের উপর অঙ্কিত লম্বের উপর অবস্থিত হয় বলিয়া সকল প্রতিবিম্বই এই রেখার উপর থাকিবে। P হইতে অগসৃত আলোক-রশ্মি  $M_1$  দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া  $A_1$  বিন্দুতে P-বিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠন করিবে, কেননা P-বিন্দু হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলনের পর  $A_1$  বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হইবে। এই রশ্মিগুচ্ছ আবার  $M_2$ -এর উপর আপতিত হইয়া  $A_2$ -বিন্দুতে  $A_1$ -বিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। এইরূপে পাল্লা-ক্রমে উভয় দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া অসীম সংখ্যক প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হইবে।  $M_2$  দর্পণে



প্রথম প্রতিফলিত হইয়াও অনুরূপভাবে অসীম সংখ্যক প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। এক্ষেত্রে প্রথম প্রতিবিম্ব  $B_1$ । ইহা  $M_1$  দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত বলিয়া  $M_1$  দর্পণে ইহার প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। এই প্রতিবিম্বটি চিত্রে  $B_2$ -দ্বারা সূচিত হইয়াছে।  $B_2$  আবার  $M_2$



চিত্র 3.7

দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত। সুতরাং  $M_2$  দ্বারা  $B_2$ -এর প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। এইরূপভাবে P-বিন্দু হইতে আগত আলোক-রশ্মি পালাক্রমে একবার প্রথম দর্পণে এবং একবার দ্বিতীয় দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া অসীম সংখ্যক প্রতিবিম্ব গঠন করে। কাজেই এক্ষেত্রে দুইটি অসীম সারি প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

তাত্ত্বিক হিসাবে এক্ষেত্রে অসীম সংখ্যক প্রতিবিম্ব গঠিত হইলেও কার্যত তাহা হয় না। প্রতিবার প্রতিফলনে কিছু পরিমাণ আলো শোষিত ও বিক্ষিপ্ত হয় বলিয়া কয়েকটি প্রতিফলনের পর আলোর তীব্রতা কমিয়া যায়, ফলে প্রথমে কয়েকটি প্রতিবিম্ব ছাড়া বাকিগুলি অস্পষ্ট হইয়া যায়।

মনে করি, দর্পণ দুইটির মধ্যবর্তী দূরত্ব  $a$  এবং P হইতে দর্পণ  $M_1$ -এর দূরত্ব  $x$  এবং P হইতে  $M_2$ -এর দূরত্ব  $y$ । এইরূপ ক্ষেত্রে, P বিন্দু হইতে  $A_1, A_2, A_3, \dots$  ইত্যাদি প্রতিবিম্বের এবং  $B_1, B_2, B_3, \dots$  ইত্যাদি প্রতিবিম্বের দূরত্ব কত হইবে তাহা 3.8 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে।

P হইতে  $A_1$ -এর দূরত্ব  $= 2x$

$A_2$ -এর দূরত্ব  $= 2x + 2y = 2a$

$A_3$ -এর দূরত্ব  $= 4x + 2y$

$A_4$ -এর দূরত্ব  $= 4x + 4y = 4a$

... ..

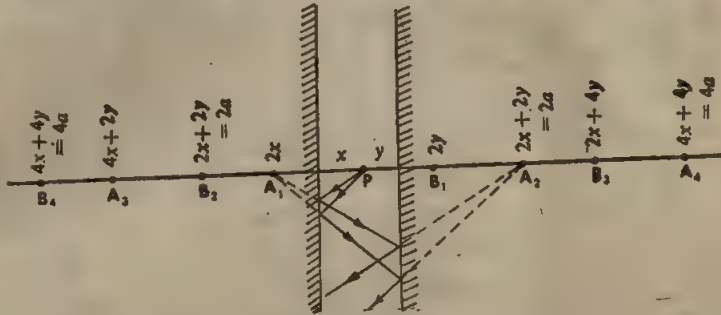
অনুরূপভাবে, P হইতে  $B_1$ -এর দূরত্ব  $= 2y$

$B_2$ -এর দূরত্ব  $= 2x + 2y = 2a$

$B_3$ -এর দূরত্ব  $= 2x + 4y$

$B_4$ -এর দূরত্ব  $= 4x + 4y = 4a$

এখানে লক্ষণীয় যে, দুইবার প্রতিফলনের পর যে-দুইটি প্রতিবিম্ব ( $A_2$  এবং  $B_2$ ) গঠিত হয় P হইতে উহাদের দূরত্ব  $x$  এবং  $y$ -এর উপর নির্ভর করে না, দর্পণদ্বয়ের দূরত্ব  $(x+y)$  বা  $a$ -এর উপর নির্ভর করে। অনুরূপভাবে, দুই দর্পণে পর্যায়ক্রমে মোট চার বার প্রতিফলনের ফলে যে দুইটি প্রতিবিম্ব ( $A_4$  এবং  $B_4$ ) গঠিত হয় উহাদের দূরত্বও  $x$  এবং

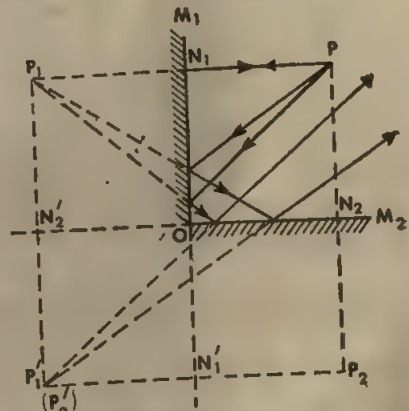


চিত্র 3.8

$y$ -এর মান নিরূপিত। প্রকৃতপক্ষে, জোড় সংখ্যক প্রতিফলনের-দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের দূরত্ব সর্বদাই কেবলমাত্র  $a$ -এর মান দ্বারা নির্ধারিত হইবে,  $x$  এবং  $y$ -এর দ্বারা নয়। দেখান যায় যে,  $2m$  বার (= একটি পূর্ণ সংখ্যা) প্রতিফলনের ফলে যে-দুইটি প্রতিবিম্ব ( $A_{2m}$ ,  $B_{2m}$ ) গঠিত হয়, P হইতে উহাদের দূরত্ব হইবে  $2m(x+y)$  বা  $2ma$ ।

(ii) সমকোণে জানত দুইটি দর্পণ : 3.9 নং চিত্রে  $OM_1$  এবং  $OM_2$  পরস্পরের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত দুইটি সমতল দর্পণ এবং P উহাদের সম্মুখে অবস্থিত একটি বস্তু বিন্দু। P-বিন্দু হইতে  $M_1$  দর্পণে  $PN_1$  লম্ব টানিয়া উহার বাঁধিত অংশ হইতে  $PN_1$ -এর সমান  $P_1N_1$  দূরত্ব কাটিয়া লইলে  $P_1$ -বিন্দুই হইবে  $M_1$  দ্বারা গঠিত P-বিন্দুর প্রতিবিম্ব।

$P_1$ -বিন্দুকে কল্প মনে করিলে উহা হইতে আগত আলোক-রশ্মি  $M_2$  দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া  $P_1'$ -বিন্দুতে  $P_1$ -এর প্রতিবিম্ব গঠন করিবে।  $P_1$ -বিন্দু হইতে বাঁধিত  $OM_2$ -রেখার উপর লম্ব টানিয়া  $P_1'$ -এর অবস্থান স্থির করা যায়।  $P_1$  হইতে আঁকিত লম্ব  $M_2$  দর্পণের বাঁধিত রেখাকে যদি  $N_2$ -বিন্দুতে ছেদ করে তবে  $P_1N_2 = P_1'N_2$ । অনুরূপভাবে, P হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ প্রথমে  $M_2$ -দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া  $P_2$  প্রতিবিম্ব গঠন করে। ইহা  $M_1$  দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত বলিয়া ঐ দর্পণে  $P_2$  বিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। জ্যামিতিক



চিত্র 3.9

অঙ্কনের সাহায্যে দেখা যাইতেছে যে,  $M_1$ -কর্তৃক গঠিত  $P_2$  এবং  $M_2$ -কর্তৃক গঠিত  $P_1$ -এর প্রতিবিম্ব  $P_1'$  একই বিন্দুতে

অবস্থিত। অর্থাৎ  $P_1'$  এবং  $P_2'$  উভয়েই একই স্থানে অবস্থিত। এই অবস্থান উভয় দর্পণের পশ্চাতে বলিয়া ইহার পর আর প্রতিবিম্ব গঠিত হয় না। সুতরাং, সমতল দর্পণ পরস্পর লম্বভাবে অবস্থিত থাকিলে উহাদের সম্মুখে অবস্থিত যে-কোন বস্তুর তিনটি প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

(iii) যে-কোন কোণে আনত দুইটি দর্পণ :  $OM_1$  এবং  $OM_2$  দুইটি সমতল দর্পণ। উহারা পরস্পরের সহিত  $\theta$ -কোণে আনত।  $P$  ইহাদের সম্মুখে অবস্থিত একটি অপ্রভ বিম্ব।

$P$ -বিম্ব হইতে  $M_1O$  দর্পণের উপর  $PN$  লম্ব টানিয়া উহাকে  $P_1$  পর্যন্ত বর্ধিত করা হইল যাহাতে  $PN = P_1N$  হয়। সুতরাং,  $P_1$ -ই হইবে  $P$ -বিম্বের প্রতিবিম্ব। আবার,  $P_1$ -বিম্ব  $M_2O$  দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত বলিয়া  $P_1'$ -বিম্ব হইতে এই দর্পণ-কর্তৃক  $P_1$ -বিম্বের প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।  $P_1'$ -বিম্বটি  $M_1O$  দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত বলিয়া  $M_1O$ -দর্পণের দ্বারা ইহার প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।  $P_1'$ -বিম্ব হইতে বর্ধিত  $M_2O$ -রেখার উপর লম্ব টানিয়া সহজেই এই প্রতিবিম্ব  $P_1''$ -এর অবস্থান নির্ণয় করা যায়। এইভাবে যতক্ষণ পর্যন্ত না প্রতিবিম্ব উভয় দর্পণের পিছনে পড়ে ততক্ষণ পালান্ধমে  $OM_1$  এবং  $OM_2$  দর্পণ দ্বারা প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

অনুরূপভাবে,  $P$  বিম্ব হইতে  $M_2$  দর্পণে আগত আলোর প্রতিফলন বিবেচনা করিলে  $P_2, P_2', P_2''$  ইত্যাদি প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।  $O$ -বিম্বের সহিত  $P$  এবং  $P_1$  বিম্ব যোগ করা হইল (চিত্রে দেখান হয় নাই)।

এখন  $\triangle PON$  এবং  $\triangle P_1ON$  ত্রিভুজের,  $ON$  একটি সাধারণ বাহু,  
 $PN = P_1N$

এবং  $\angle ONP = \angle ONP_1$

(উভয়েই সমকোণ বলিয়া)

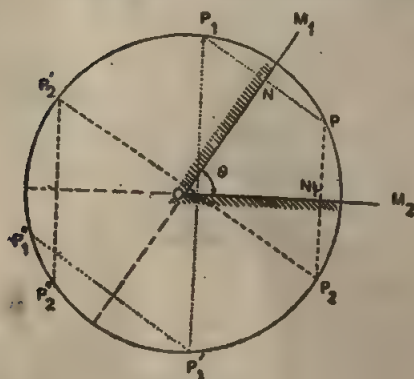
সুতরাং, ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম।

কাজেই,  $PO = P_1O$

অনুরূপভাবে প্রমাণ করা যায় যে,  $P_1O = P_2O = P_1'O = \dots = P_2''O$  ইত্যাদি। অর্থাৎ, প্রতিবিম্বগুলি মূলবিম্ব  $P$ -সহ একই বৃত্তের উপর অবস্থিত থাকে। এই বৃত্তের কেন্দ্র  $O$ -বিম্ব হইতে এবং ইহার ব্যাসার্ধ  $OP$ -এর সমান।

প্রমাণ করা যায় যে,  $\left(\frac{2\pi}{\theta} - 1\right)$  যদি একটি পূর্ণ সংখ্যা হয় তবে এই সংখ্যাটিই  $\theta$

কোণে আনত দুই দর্পণ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের সংখ্যা সূচিত করিবে। যদি  $\left(\frac{2\pi}{\theta} - 1\right)$  একটি পূর্ণসংখ্যা না হয়, তাহা হইলে পরবর্তী পূর্ণ সংখ্যাটিই প্রতিবিম্বের মোট সংখ্যা সূচিত করিবে।



চিত্র 3.10



### 3.8 ক্রমিক প্রতিফলনের প্রয়োগ

ক্রমিক প্রতিফলন কাজে লাগাইয়া পেরিস্কোপ ও ক্যালিডেস্কোপ তৈয়ারী হইয়াছে। নিম্নে ইহাদের কার্যনীতি ব্যাখ্যা করা হইল।

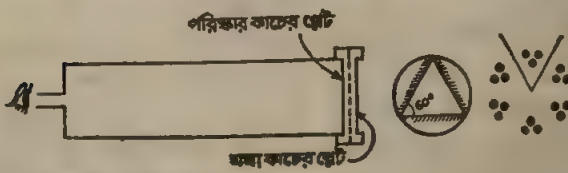
(i) সরল পেরিস্কোপ : কোন বস্তুকে সোজাসুজি দেখিবার পথে বাধা থাকিলে ক্রমিক প্রতিফলনের সাহায্যে সেই বাধা এড়াইয়া বস্তুটি দেখা যায়। পেরিস্কোপ এইরূপ একটি ব্যবস্থা। দুইটি সমতল দর্পণকে একটি নলের মধ্যে বা কাঠের ফ্রেমে আটকাইয়া সরল পেরিস্কোপ তৈয়ারী করা হয় (চিত্র 3.11)।  $M_1$  এবং  $M_2$  দর্পণ দুইটি পরস্পরের সমান্তরাল। উপরের দর্পণের প্রতিফলক তল উপর দিকে থাকে। দর্পণ দুইটির সামনে অল্প ছোট্টের কিছু অংশ কাটা। উপরের দর্পণে দূরের কোন বস্তু হইতে আলো আসিয়া  $45^\circ$ -তে আপতিত হইলে উহা ঐ দর্পণে প্রতিফলনের ফলে  $90^\circ$  ঘুরিয়া নিচের দর্পণে পড়ে এবং উহা হইতে পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া দর্পণের চোখে প্রবেশ করে।



চিত্র 3.11

খেলার মাঠে এইরূপ পেরিস্কোপের সাহায্যে মাঠের বাহির হইতে ভিড়ের উপর দিয়া খেলা দেখা যায়। যুদ্ধক্ষেত্রে উপরিখা বা গর্তের মধ্যে আত্মগোপন করিয়া পেরিস্কোপের সাহায্যে বাহিরে নজর রাখা যায়।

(ii) ক্যালিডেস্কোপ : ইহাতে প্রায় এক ইঞ্চি চওড়া ও চার ইঞ্চি লম্বা নলের মধ্যে পরস্পরের সহিত  $60^\circ$  কোণে আনত তিনটি দর্পণ থাকে (চিত্র 3.12)। নলের একপ্রান্ত একখানি শক্ত কার্ডবোর্ডের টুকরা দ্বারা বন্ধ এবং ইহার মাঝখানে একটি ছিদ্র থাকে। নলের অপর প্রান্ত একখানি ঘষা কাচের চাকৃতি দ্বারা বন্ধ করা থাকে। এই



চিত্র 3.12

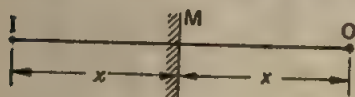
ঘষা কাচের উপর এবং দর্পণ তিনটির দ্বারা গঠিত ত্রিকোণাকার প্রিজম-সদৃশ নলের মধ্যে কয়েকটি রঙিন কাচের টুকরা রাখা

হয়। ইহার পর একটি পরিষ্কার কাচের প্লেট থাকে। রঙিন কাচের টুকরাগুলি ঘষা কাচের চাকৃতি ও পরিষ্কার কাচের চাকৃতির মধ্যে আবদ্ধ থাকে। কার্ডবোর্ডের ছিদ্রের মধ্য দিয়া নলের মধ্যে তাকাইলে অপর প্রান্তে নক্সা দেখা যায়। প্রত্যেক জোড়া দর্পণ  $60^\circ$  কোণে অবস্থিত বলিয়া উহার পাঁচটি করিয়া প্রতিবিম্ব গঠন করিবে এবং সব কয়টি প্রতিবিম্ব মিলিয়া একটি সুন্দর নক্সা তৈয়ারী হইবে। নলটিকে ঘুরাইলে বা নাড়িলে কাচের টুকরাগুলির অবস্থান পরিবর্তিত হইবে, ফলে নূতন নূতন নক্সা দেখা যাইবে।

### 3.9 সমতল দর্পণে প্রতিফলন-সংক্রান্ত কয়েকটি উপপাত্ত

(i) সমতল দর্পণ হইতে কোন বস্তুর দূরত্বের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটিলে প্রতিবিম্ব হইতে বস্তুর দূরত্বের দ্বিগুণ হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে।

মনে করি, প্রথমে বস্তুটি (O) দর্পণ হইতে  $x$ -দূরত্বে অবস্থিত। এই অবস্থায় বস্তুর প্রতিবিম্বও (I) দর্পণ হইতে  $x$ -দূরত্বে থাকিবে (চিত্র 3.13)। বস্তুটি  $d$ -দূরত্বে আগাইয়া আসিলে দর্পণ হইতে উহার দূরত্ব হইবে  $(x-d)$ । সুতরাং, এই অবস্থায় দর্পণ হইতে



প্রতিবিম্বের দূরত্বও হইবে  $(x-d)$ । বস্তু দর্পণের দিকে  $d$  দূরত্ব সরিয়া আসিলে বস্তুটি নিজ প্রতিবিম্বের দিকে  $2x - 2(x-d) = 2d$  দূরত্ব অগ্রসর হয়। বস্তুটি যদি  $v$  গতিবেগে দর্পণের দিকে আগাইতে থাকে তবে বস্তুর সাপেক্ষে উহার প্রতিবিম্বের আপেক্ষিক বেগ হইবে  $2v$ ।

(ii) দর্পণ নিজ তলের সমান্তরালভাবে সরিলে বস্তু ও দর্পণের দূরত্বের যে-হ্রাস-বৃদ্ধি

হয় বস্তু ও প্রতিবিম্বের দূরত্বের হ্রাস-বৃদ্ধি তাহার দ্বিগুণ।

ধরি, দর্পণ হইতে বস্তুর প্রাথমিক দূরত্ব  $= x$ ; সুতরাং, প্রতিবিম্ব  $I_1$  হইতে বস্তু O-এর দূরত্ব  $= 2x$ । দর্পণ বস্তুর দিকে  $d$  দূরত্বে আগাইলে বস্তু হইতে দর্পণের দূরত্ব হইবে  $(x-d)$  এবং প্র

তি বি ম্ব

হইতে ব স্তু র দূরত্ব হইবে

$2(x-d)$ । কাজেই দর্পণ বস্তুর

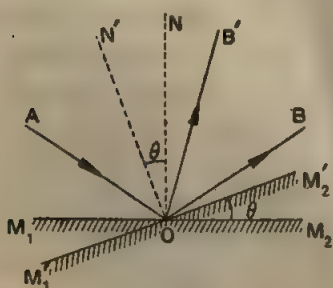
দিকে  $d$  দূরত্বে আগাইলে প্রতিবিম্ব

$2x - 2(x-d)$  বা  $2d$  দূরত্বে

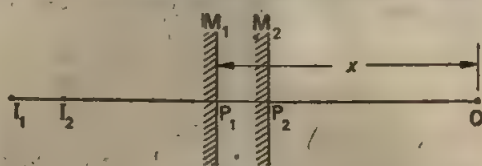
আগাইবে। বস্তুর সাপেক্ষে

দর্পণের আপেক্ষিক বেগ  $v$  হইলে প্রতিবিম্বের আপেক্ষিক বেগ হইবে  $2v$ । 3.14 নং চিত্রে  $M_1$  এবং  $M_2$  দর্পণের প্রাথমিক ও অন্তিম অবস্থান দেখান হইয়াছে।  $I_1$  এবং  $I_2$  দর্পণের ঐ দুই অবস্থানে O বিন্দুর প্রতিবিম্ব। স্পষ্টতই,

$$I_1 I_2 = OI_1 - OI_2 = 2OP_1 - 2OP_2 = 2(OP_2 - OP_1) = 2P_1 P_2,$$



চিত্র 3.15



চিত্র 3.14

দর্পণের আপেক্ষিক বেগ  $v$  হইলে প্রতিবিম্বের আপেক্ষিক বেগ হইবে  $2v$ । 3.14 নং চিত্রে  $M_1$  এবং  $M_2$  দর্পণের প্রাথমিক ও অন্তিম অবস্থান দেখান হইয়াছে।  $I_1$  এবং  $I_2$  দর্পণের ঐ দুই অবস্থানে O বিন্দুর প্রতিবিম্ব। স্পষ্টতই,

(iii) দর্পণ নিজ তলের সাপেক্ষে

$\theta$ -কোণ ঘুরিলে প্রতিফলিত রশ্মি  $2\theta$  কোণ ঘুরিয়া যায়।

মনে করি, AO আলোক-রশ্মি  $M_1 M_2$  দর্পণে আপতিত হইয়া প্রতিফলনের পর OB পথে অগ্রসর হইতেছে (চিত্র 3.15)। দর্পণ নিজ তলের সাপেক্ষে  $\theta$ -কোণে ঘুরিয়া  $M_1' M_2'$  অবস্থানে আসিলে AO-রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া OB' পথে যায়।

O বিন্দু হইতে  $M_1M_2$  এবং  $M_1'M_2'$ -এর উপর যথাক্রমে ON এবং ON' লম্ব টানা হইল।

$M_1M_2$  হইল দর্পণের প্রথম অবস্থান। AO আপতিত রশ্মি এবং OB প্রতিফলিত রশ্মি। ON আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব। প্রতিফলনের সূত্রানুসারে,

$$\angle AON = \angle BON = \alpha \text{ (ধরি)}। \text{ সুতরাং,}$$

$$\angle AOB = \angle AON + \angle BON = 2\alpha \quad \dots \quad (i)$$

দর্পণকে নিজ তলের সাপেক্ষে  $\theta$ -কোণ ঘুরাইলে উহার উপর অঙ্কিত অভিলম্বও  $\theta$ -কোণ ঘুরিবে। অর্থাৎ,  $\angle M_2OM_2' = \angle NON' = \theta$

এই অবস্থায় প্রতিফলিত রশ্মি OB' বলিয়া প্রতিফলনের সূত্রানুসারে লেখা-যায়,

$$\angle AON' = \angle B'ON' = \alpha - \theta$$

$$\text{সুতরাং } \angle AOB' = \angle AON' + \angle B'ON' = 2(\alpha - \theta) \quad \dots \quad (ii)$$

$$\therefore \angle BOB' = \angle AOB' - \angle AOB = 2\alpha - 2(\alpha - \theta) \quad [(i) \text{ ও } (ii) \text{ হইতে}]$$

$$= 2\theta$$

অর্থাৎ, দর্পণ  $\theta$ -কোণ ঘুরিতে প্রতিফলিত রশ্মি  $2\theta$  কোণ ঘুরিবে তাহার মান 2 $\theta$  সেক্সট্যান্ট (sextant), অপটিক্যাল লিভার (optical lever) প্রভৃতি যন্ত্রে এই নীতিয় প্রয়োগ দেখা যায়।

(iv) কোন দর্শক সমতল দর্পণে নিজের প্রতিবিম্ব দেখিতে চাহিলে দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে তাহার দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হওয়া প্রয়োজন।

মনে করি, AB দর্শকের দৈর্ঘ্য এবং E তাহার চোখের অবস্থান (চিত্র 3.16)। দর্পণটি PQ-তলে অবস্থিত। A-বিন্দু হইতে PQ রেখার উপর লম্ব টানিয়া উহাকে A' পর্যন্ত বর্ধিত করা হইল যাহাতে AP = A'P হয়। সুতরাং A' হইবে A-বিন্দুর প্রতিবিম্বের অবস্থান। A' এবং E যোগ করা হইল। A'E-রেখা PQ দর্পণকে M-বিন্দুতে ছেদ করিল। A-বিন্দু হইতে আগত আলোক-রশ্মি দর্পণ-কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌছাইলে A' বিন্দুতে A বিন্দুর প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। অর্থাৎ, উপরের দিকে দর্পণটি M-বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত হইলে তবেই A' প্রতিবিম্ব দর্শকের চোখে পড়িবে। অনুরূপভাবে, নিম্নতম বিন্দু B'-কে দেখিতে হইলে দর্পণ নিচের দিকে N-বিন্দু পর্যন্ত বিস্তৃত হওয়া প্রয়োজন।



চিত্র 3.16

সুতরাং, নিজ দেহের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে MN-এর সমান হওয়া আবশ্যিক।

$\triangle AA'E$  এবং  $\triangle A'PM$  সদৃশকোণী বলিয়া,

$$\frac{PM}{AE} = \frac{A'P}{A'A} = \frac{AP}{2AP} = \frac{1}{2} \quad \text{বা, } PM = \frac{1}{2} AE \quad \dots \quad (i)$$



অনুরূপভাবে,  $\triangle B'NQ$  এবং  $\triangle B'EB$  সদৃশকোণী বলিয়া,

$$\frac{NQ}{BE} = \frac{B'Q}{B'B} = \frac{B'Q}{2B'Q} = \frac{1}{2} \text{ বা, } NQ = \frac{1}{2} BE \quad \dots \quad (ii)$$

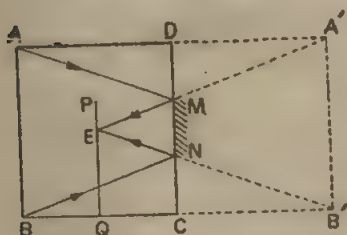
$$\therefore (PM + NQ) = \frac{1}{2}(AE + BE) = \frac{1}{2}AB \quad [(i) \text{ ও } (ii) \text{ হইতে}]$$

$$\text{দর্পণের ন্যূনতম দৈর্ঘ্য, } MN = PQ - (PM + NQ) = PQ - \frac{1}{2}AB$$

$$\text{কিন্তু } PQ = AB \therefore MN = AB - \frac{1}{2}AB = \frac{1}{2}AB$$

(v) ঘরের মধ্যস্থলে দণ্ডায়মান কোন দর্শক ঘরের দেওয়ালে আটকান সমতল দর্পণে তাহার পিছনের দিকের দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে চাহিলে দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে ঘরের উচ্চতার এক-তৃতীয়াংশ হইতে হইবে।

3.17 নং চিত্রে PQ রেখা দ্বারা ঘরের মধ্যস্থলে দণ্ডায়মান ব্যক্তির অবস্থান সূচিত করা হইয়াছে, E তাহার চোখের অবস্থান। CD দেওয়ালে একটি সমতল দর্পণ রহিয়াছে। দর্পণটির দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইলে ঐ দর্শক উহাতে AB দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। ধরি, A বিম্ব হইতে আগত



চিত্র 3.17

পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে।

$$\text{স্পষ্টতই, } BC = B'C = 2QC$$

$$\therefore B'Q = B'C + QC = B'C + \frac{1}{2}B'C = \frac{3}{2}B'C$$

$$\text{কাজেই, } B'C = \frac{2}{3}B'Q \quad \dots \quad (i)$$

এখন,  $\triangle B'NC$  এবং  $\triangle B'EQ$  পরস্পর সদৃশ। সুতরাং,

$$B'E/B'N = B'Q/B'C = \frac{3}{2} \quad [(i) \text{ হইতে}] \quad (ii)$$

$$\therefore (ii) \text{ হইতে পাই, } B'N = \frac{2}{3}B'E = \frac{2}{3}(B'N + N'E) \text{ বা, } B'N = 2NE$$

$$\therefore B'E = B'N + NE = 2NE + NE = 3NE \text{ বা, } NE = \frac{1}{3}B'E \quad \dots \quad (iii)$$

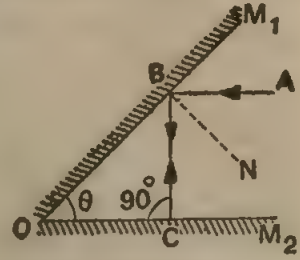
$$\triangle BMN \text{ এবং } \triangle EA'B' \text{ সদৃশ বলিয়া } MN/A'B' = NE/B'E = \frac{1}{3}$$

$$\text{কাজেই } MN = \frac{1}{3}A'B' = \frac{1}{3}AB$$

● সমতল দর্পণে প্রতিফলন-সংক্রান্ত কয়েকটি প্রশ্ন ●

প্রশ্ন 1. দুইটি দর্পণ পরস্পর একটি নির্দিষ্ট কোণে আনত রহিয়াছে। কোন আলোক-রশ্মি দ্বিতীয় দর্পণের সহিত সমান্তরালভাবে প্রথম দর্পণে পড়িল। প্রথম দর্পণে প্রতিফলনের পর ইহা দ্বিতীয় দর্পণে পড়িল এবং প্রতিফলনের পর একই পথে ফিরিয়া গেল। দর্পণদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণ কত?

মনে করি,  $OM_1$  এবং  $OM_2$  দর্পণ দুইটি পরস্পর  $\theta$  কোণে আনত রহিয়াছে (চিত্র 3.18)।  $AB$  আলোক-রশ্মিটি  $OM_1$  দর্পণের সহিত সমান্তরালভাবে  $OM_1$  দর্পণে আপতিত হইল।  $B$  বিন্দুতে প্রতিফলিত হইয়া ঐ আলোক-রশ্মিটি  $BC$  পথে আসিয়া দর্পণের  $C$  বিন্দুতে আপতিত হইল। শর্তানুসারে,  $C$ -বিন্দুতে প্রতিফলিত হইবার পর আলোক-রশ্মিটি একই পথে ( $CB$  পথে) ফিরিয়া গেল। কাজেই,  $BC$  আলোক-রশ্মিটি  $OM_2$  দর্পণের উপর লম্বভাবে আপতিত হইয়াছে।



চিত্র 3.18

অর্থাৎ,  $\angle BCO = 90^\circ$  ... (i)

$BA$  এবং  $OM_1$  রেখা দুটির পরস্পর সমান্তরাল বলিয়া লেখা যায়,

$\angle M_1BA = \theta$  ... (ii)

$B$  বিন্দুতে  $OM_1$  দর্পণের উপর  $BN$  অভিলম্ব টানা হইল।

$AB$  রশ্মির আপতন কোণ,  $\angle ABN = 90^\circ - \angle M_1BA$   
 $= (90^\circ - \theta)$  [ (ii) হইতে ]

কাজেই, প্রতিফলিত কোণ,  $\angle CBN = 90^\circ - \theta$

এখন,  $\angle CBO = 90^\circ - \angle CBN = \theta$  ... (iii)

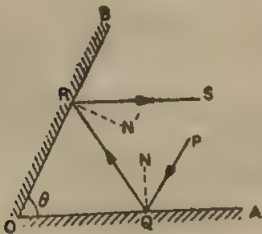
আবার,  $\angle OCB$  কোণটি সমকোণ বলিয়া লেখা যায়,

$\angle BOC + \angle CBO = 90^\circ$  বা,  $\theta + \theta = 90^\circ$  বা,  $\theta = 45^\circ$

প্রশ্ন 2. দুইটি সমতল দর্পণ  $A$  এবং  $B$  পরস্পর  $\theta$  কোণে আনত।  $B$  দর্পণের সহিত সমান্তরালভাবে একটি আলোক-রশ্মি  $A$  দর্পণে আপতিত হইল এবং দেখা গেল যে,  $A$  দর্পণ হইতে একবার এবং  $B$  দর্পণ হইতে একবার প্রতিফলিত হইবার পর রশ্মিটি  $A$  দর্পণের সমান্তরাল হইয়াছে।  $\theta$  কোণের মান নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (শাখা-বিজ্ঞান), 1967]

$A$  এবং  $B$  দর্পণ দুইটি পরস্পর  $\theta$  কোণে আনত (চিত্র 3.19)।  $PQ$  রশ্মিটি  $B$  দর্পণের সমান্তরালভাবে  $A$  দর্পণের  $Q$ -বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে।  $Q$  বিন্দু হইতে প্রতিফলিত হইয়া ঐ রশ্মিটি  $B$  দর্পণের  $R$ -বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে।  $QR$  রশ্মিটি  $B$  দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া  $RS$  পথে গিয়াছে। প্রশ্নের শর্তানুসারে  $RS$  রশ্মিটি  $A$  দর্পণের সমান্তরাল। এখন, দর্পণদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণ  $\theta$  নির্ণয় করিতে হইবে।



চিত্র 3.19

$\angle PQA = \angle ROQ = \theta$

$\therefore \angle PQN = 90^\circ - \angle PQA = (90^\circ - \theta)$

$QN$  এবং  $RN'$  যথাক্রমে  $A$  দর্পণের  $Q$  বিন্দুতে এবং  $B$  দর্পণের  $R$  বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব।  $PQ$  রশ্মিটি  $B$  দর্পণের সমান্তরাল বলিয়া লেখা যায়,

প্রতিফলনের সূত্রানুসারে,  $\angle RQN = \angle PQN = 90^\circ - \theta$

কাজেই  $\angle RQO = \angle OQN - \angle RQN = 90^\circ - (90^\circ - \theta) = \theta \dots (i)$

অনুরূপভাবে, RS রশ্মিটি দর্পণের সমান্তরাল বলিয়া লেখা যায়,

$$\angle BRS = \angle ROQ = \theta \therefore \angle SRN' = 90^\circ - \theta$$

প্রতিফলনের সূত্রানুসারে,  $\angle QRN' = \angle SRN' = 90^\circ - \theta$

সুতরাং,  $\angle QRO = \angle ORN' - \angle QRN' = 90^\circ - (90^\circ - \theta) = \theta \dots (ii)$

এখন, একটি ত্রিভুজের তিনটি কোণের সমষ্টি দুই সমকোণের সমান বলিয়া লেখা যায়,  $\angle ROQ + \angle RQO + \angle QRO = 180^\circ$

$\therefore$  সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,  $\theta + \theta + \theta = 180^\circ$  বা,  $\theta = 60^\circ$

প্রশ্ন 3. যদি কোন আলোক-রশ্মি পরস্পর একটি নির্দিষ্ট কোণে আনত দুইটি কোণের সমতল দর্পণে পর পর প্রতিফলিত হয় তাহা হইলে রশ্মিটির মোট বিচ্যুতি আগতন কোণের উপর নির্ভরশীল হইবে কী? ব্যাখ্যা কর।

[ জয়েন্ট এন্টোলস, 1974 ]

মনে করি,  $M_1M_1'$  এবং  $M_2M_2'$ —এই দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের সহিত  $\alpha$ -কোণে আনত (চিত্র 3.20)।

কোন আলোক-রশ্মি AB প্রথমে  $M_1M_1'$  দর্পণের B বিন্দুতে  $i_1$ -কোণে আপতিত হইয়া প্রতিফলনের পর BC পথে অগ্রসর হয় এবং  $M_2M_2'$  দর্পণের C বিন্দুতে  $i_2$ -কোণে আপতিত হয়। ইহার পর C বিন্দু হইতে প্রতিফলিত হইয়া CD পথে অগ্রসর হয়।

প্রথম দর্পণের B বিন্দুতে প্রতিফলনের ফলে আলোক-রশ্মির বিচ্যুতি,

$$\delta_1 = 180^\circ - \angle ABC$$

চিত্র 3.20

$$\text{বা, } \delta_1 = 180^\circ - 2i_1$$

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় দর্পণের C বিন্দুতে প্রতিফলনের ফলে আলোক-রশ্মির বিচ্যুতি,  $\delta_2 = 180^\circ - 2i_2 \dots (ii)$

সুতরাং, পর পর দুইটি দর্পণে প্রতিফলনের ফলে আলোক-রশ্মির মোট বিচ্যুতি  $\delta = \delta_1 + \delta_2 = 360^\circ - 2(i_1 + i_2) \dots (iii)$

এখন,  $\triangle OBC$  হইতে লেখা যায়,  $\angle BOC + \angle OBC + \angle BCO = 180^\circ$

$$\text{বা, } \alpha + (90^\circ - i_1) + (90^\circ - i_2) = 180^\circ$$

$$\text{বা, } \alpha = i_1 + i_2 \dots (iv)$$

সুতরাং, সমীকরণ (iii) এবং (iv) হইতে পাই,

$$\delta = 360^\circ - 2\alpha \dots (v)$$

$\alpha$  একটি নির্দিষ্ট কোণ, ইহা আগতন কোণ  $i_1$ -এর উপর নির্ভরশীল নয়।



কাজেই, সমীকরণ (v) হইতে দেখা যাইতেছে যে, কোন আলোক-রশ্মি পর পর দুইটি সমতল দর্পণে প্রতিফলিত হইলে উহার মোট বিচ্যুতি আপতন কোণের উপর নির্ভর করে না।

প্রশ্ন 4. MN একটি সমতল দর্পণ। AB এবং CD যথাক্রমে দর্পণের উপর আপতিত এবং প্রতিফলিত রশ্মি। দর্পণের উপর D যে-কোন একটি বিন্দু। প্রমাণ কর যে,  $AB + BC < AD + DC$  [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983 ]

A বিন্দু হইতে একটি আলোক-রশ্মি আসিয়া দর্পণের B বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে এবং প্রতিফলনের পর BC পথে গিয়াছে।

D দর্পণের উপর অপর একটি বিন্দু। প্রমাণ করিতে হইবে যে,

$$AB + BC < AD + DC \text{ ( চিত্র 3.21 )}$$

A বিন্দু হইতে MN দর্পণের উপর AP লম্ব টানা হইল। বর্ধিত AP রেখা এবং বর্ধিত CB রেখা পরস্পর A' বিন্দুতে ছেদ করে। এক্ষেত্রে A' হইল A বিন্দুর অসদ্বিষ। প্রমাণ করা যায় যে,  $AP = A'P$ ।

A' বিন্দুর সহিত D বিন্দু যুক্ত করিয়া A'D সরলরেখা টানা হইল।

$$\triangle ABP \text{ এবং } \triangle A'BP \text{-এর মধ্যে}$$

$$AP = A'P, \angle APB = \angle A'PB$$

এবং BP সাধারণ বাহু।

অতএব, দ্বিভুজদ্বয় সর্বসম।

$$\text{কাজেই, } AB = A'B \quad \dots \quad (i)$$

অনুরূপভাবে,  $\triangle ADP$  এবং  $\triangle A'DP$  সর্বসম বলিয়া লেখা যায়,

$$AD = A'D \quad \dots \quad (ii)$$

$$\text{এখন, } AB + BC = A'B + BC \quad [(i) \text{ হইতে}]$$

$$\text{বা, } AB + BC = A'C \quad \dots \quad (iii)$$

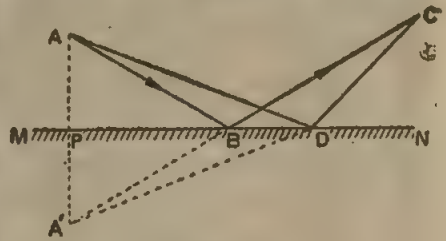
এখন, কোন দ্বিভুজের যে-কোন দুই বাহুর যোগফল তৃতীয় বাহু অপেক্ষা বৃহত্তর।

কাজেই,  $\triangle A'DC$  হইতে লেখা যায়,

$$A'D + DC > A'C$$

$$\text{বা, } AD + DC > AB + BC \quad [(ii) \text{ এবং } (iii) \text{ হইতে}]$$

$$\text{বা, } AB + BC < AD + DC$$



চিত্র 3.21

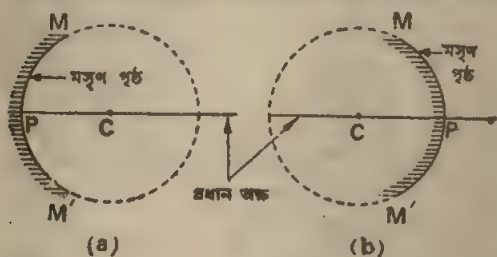
### 3.10 বক্রতলে আলোর প্রতিফলন

(Reflection of light at curved surfaces)

মসৃণ বক্রতলে আলোর প্রতিফলনের ক্ষেত্রেও নিয়মিত প্রতিফলনের সূত্রগুলি প্রয়োগ করা যায়। বক্রতলের একটি অতি ক্ষুদ্র অংশকে সমতল ধরিয়া লওয়া যায় বলিয়া

এক্ষেত্রেও উপরি-উক্ত সূত্রগুলি খাটে। পার্থক্য শুধু এই যে, বক্রতলের বিভিন্ন বিন্দুতে অভিলম্ব টানিলে উহার সমান্তরাল হয় না, ফলে বক্রতলে একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ আসিয়া পড়িলে বিভিন্ন বিন্দুতে ইহার আপতন কোণ বিভিন্ন হয় (কেননা বিভিন্ন বিন্দুতে অভিলম্বের অভিমুখ বিভিন্ন)। কাজেই প্রতিফলনের পর রশ্মিগুলি সমান্তরাল থাকে না—অভিসারী কিংবা অপসারী হইয়া পড়ে। যদিও বক্রতল নানাবিধ জ্যামিতিক আকারের হইতে পারে, আমরা আমাদের আলোচনা শুধুমাত্র গোলায় তলের (spherical surface) ক্ষেত্রে সীমাবদ্ধ রাখিব।

**গোলায় তলে প্রতিফলন :** কোন তল যদি একটি গোলকের অংশ হয় তবে তাহাকে গোলায় তল বলা হয়। গোলায় তলের উপর পারদ বা অন্য কোন উত্তম প্রতিফলকের প্রলেপ দিয়া দুই প্রকার দর্পণ তৈয়ারী করা যায়। যদি গোলায় তলের



চিত্র 3.22

ভিতরের দিক মসৃণ হয় এবং প্রতিফলকের ন্যায় কাজ করে তবে তাহাকে অবতল দর্পণ (concave mirror) বলা হয় [চিত্র 3.22 (a)]। যদি গোলায় তলের বাহিরের দিকে মসৃণ করা হয় তবে উহার বাহিরের দিক প্রতিফলকের

ন্যায় কাজ করে। এইরূপ দর্পণকে উত্তল দর্পণ (convex mirror) বলা হয় [চিত্র 3.22 (b)]।

### 3.11 গোলায় দর্পণ-সম্পর্কিত কয়েকটি সংজ্ঞা

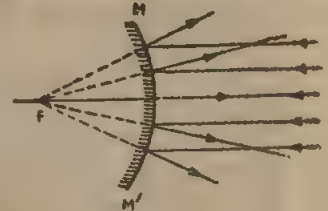
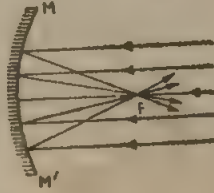
(i) মেরু (Pole) : কোন উত্তল বা অবতল দর্পণের মধ্যবিন্দুকে উহার মেরু বলা হয়। 3.22 নং চিত্রে মেরুকে P অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে।

(ii) বক্রতা-কেন্দ্র ও বক্রতা-ব্যাসার্ধ (Centre of curvature and radius of curvature) : গোলায় দর্পণ যে-গোলকের অংশ তাহার কেন্দ্রকে ঐ দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র বলা হয়। 3.22 নং চিত্রে বক্রতা-কেন্দ্রকে C-অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে। দর্পণ যে-গোলকের অংশ তাহার ব্যাসার্ধকেই গোলায় দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ বলা হয়। গোলকের জ্যামিতিক ধর্ম-অনুসারে, বক্রতা-কেন্দ্র হইতে দর্পণের তলের যে-কোন বিন্দুর দূরত্বই উহার বক্রতা-ব্যাসার্ধের সমান। এখানে লক্ষণীয় যে, অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে প্রতিফলক পৃষ্ঠটি থাকে উহার বক্রতা-কেন্দ্রের দিকে। কিন্তু উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে প্রতিফলক পৃষ্ঠটি থাকে বক্রতা-কেন্দ্রের বিপরীত দিকে।

(iii) প্রধান অক্ষ (Principal axis) : গোলায় দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র এবং উহার মেরুর সংযোজী সরলরেখাকে প্রধান অক্ষ বলা হয়। 3.22 নং চিত্রে বর্ণিত PC রেখাই প্রধান অক্ষ।

(iv) প্রধান ফোকাস ও ফোকাস-দৈর্ঘ্য (Principal focus and focal length) : প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে যদি একটি রশ্মিগুচ্ছ আসিয়া অবতল দর্পণে

পড়ে তবে প্রতিফলিত হইবার পর ঐ রশ্মিগুলি প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয়। ঐ বিন্দুকে অবতল দর্পণের প্রধান ফোকাস বলে। তদুপ, যদি প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরাল কোন রশ্মিগুচ্ছ



চিত্র 3.23

কোন উত্তল দর্পণের উপর আপতিত হয়, তবে প্রতিফলনের পর ইহা প্রধান অক্ষের একটি নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। ঐ বিন্দুকে উত্তল দর্পণের প্রধান ফোকাস বলা হয়।

3.23 নং চিত্রে অবতল ও উত্তল দর্পণের ফোকাসকে  $F$  দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে।

(v) ফোকাস-দৈর্ঘ্য : কোন গোলায়ী দর্পণের মেরু হইতে ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে ফোকাস-দূরত্ব বা ফোকাস-দৈর্ঘ্য বলে।

### 3.12 চিহ্ন-সম্বন্ধীয় নীতি (Sign convention)

বক্রতলে প্রতিফলন ও প্রতিসরণের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব, বক্রতা-কেন্দ্র, ফোকাস ইত্যাদির অবস্থান কখনও দর্পণের সামনে, কখনও পিছনে থাকে। আয়নার সাপেক্ষে উহাদের সঠিক অবস্থান নির্দেশ করিতে হইলে দূরত্বগুলির চিহ্ন সম্বন্ধে একটি নির্দিষ্ট প্রথা অনুসরণ করা দরকার। অর্থাৎ, বক্রতলে প্রতিফলন বা প্রতিসরণের ক্ষেত্রে কোন দৈর্ঘ্যের উল্লেখ করিবার সময় উহা ঋণাত্মক কি ধনাত্মক তাহা উল্লেখ করা প্রয়োজন। চিহ্ন সম্বন্ধে প্রচলিত নীতি নিম্নরূপ—

আপতিত আলোক-রশ্মিগুলি যে-দিকে যাইতেছে তাহার বিপরীত দিকের দূরত্বকে ধনাত্মক এবং আপতিত রশ্মিগুলি যে-দিকে যাইতেছে সেই দিকের দূরত্বকে ঋণাত্মক ধরা যায়। অন্যভাবে বলা যায়, আলোক-উৎসের দিকে কোন দূরত্ব মাপিলে তাহা ধনাত্মক, আলোক-উৎসের বিপরীত দিকে কোন দূরত্ব মাপিলে তাহা ঋণাত্মক। এক্ষেত্রে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, বক্রতল দর্পণের ক্ষেত্রে মেরু হইতে সমস্ত দৈর্ঘ্য মাপিতে হয়। উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে ফোকাস-দূরত্ব ঋণাত্মক হইবে, কেননা এক্ষেত্রে মেরু হইতে প্রধান ফোকাসের অবস্থান আপতিত রশ্মিগুলির অভিমুখে (চিত্র 3.23) এবং অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে ফোকাস-দূরত্ব ধনাত্মক, কেননা, এক্ষেত্রে মেরু হইতে প্রধান ফোকাস  $F$ -এর অবস্থান আপতিত রশ্মিগুলির গমনপথের বিপরীত দিকে।

### 3.13 অ্যাসাশ'ও ফোকাস-দৈর্ঘ্যের সম্পর্ক

3.24(a) নং চিত্রে  $MM'$  একটি অবতল দর্পণ।  $PC$  অক্ষের সমান্তরালভাবে একটি রশ্মি  $AB$ , দর্পণের উপর আপতিত হইল। ফোকাসের সংজ্ঞানুসারে, এই রশ্মি প্রতিফলনের পর ফোকাস  $F$ -এর মধ্য দিয়া যাইবে। দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র  $C$ -এর সহিত  $B$ -বিন্দু যুক্ত করা হইল। বৃত্তের জ্যামিতিক ধর্ম-অনুযায়ী,  $CB$ -রেখা বক্রতলের  $B$  বিন্দুতে লম্ব।



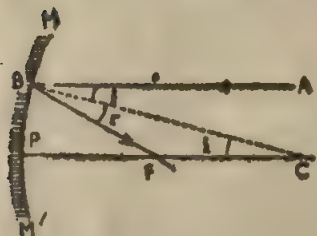
$\angle ABC =$  আপতন কোণ,  $i$  এবং  $\angle CBF =$  প্রতিফলন কোণ,  $r$

প্রতিফলনের নিয়মানুসারে,  $\angle CBF = \angle ABC$

কিন্তু  $\angle ABC = \angle BCF$  (একান্তর কোণ বলিয়া)

$$\therefore \angle CBF = \angle BCF$$

... (i)



চিত্র 3.24 (a)



চিত্র 3.24 (b)

সুতরাং  $\triangle FBC$  ত্রিভুজটি সমদ্বিবাহু ত্রিভুজ ; অর্থাৎ,  $BF = FC$  ... (ii)

যদি ধরিয়া লই যে, B-বিন্দু মেরুর খুব কাছাকাছি তবে লেখা যায়,

$$PF = BF$$

... (iii)

অতএব, সমীকরণ (ii) ও (iii) হইতে লেখা যায়,  $FC = PF$

$$\therefore PC = PF + FC = 2PF \text{ বা, } r = 2f \quad \dots (3.1)$$

( $PC =$  দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ,  $r$  এবং  $PF =$  দর্পণের ফোকাস-দৈর্ঘ্য,  $f$ )

সুতরাং, দর্পণের ফোকাস-দৈর্ঘ্য  $= \frac{1}{2} \times$  দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ

উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রেও এই সম্পর্ক খাটে। 3.24 (b) নং চিত্র হইতে ইহা সহজেই প্রমাণ করা যায়।

### 3.14 রশ্মি অনুসরণ পদ্ধতি (ray-tracing method) দ্বারা

#### প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয়

ফোকাস এবং বক্রতা-কেন্দ্রের বৈশিষ্ট্য স্মরণ রাখিলে অতি সহজেই আমরা কোন বস্তুর প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিতে পারি। আমরা জানি যে,

(i) প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরালভাবে আপতিত রশ্মি প্রতিফলনের পর ফোকাসের মধ্য দিয়া যায়।

(ii) বক্রতা-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া কোন রশ্মি অগ্রসর হইলে উহা দর্পণের গায়ে লম্বভাবে আপতিত হয়, সুতরাং উহা প্রতিফলনের পর একই পথ ধরিয়া ফিরিয়া যায়।

(iii) কোন আপতিত রশ্মি ফোকাসের মধ্য দিয়া গেলে উহা প্রতিফলনের পর অক্ষের সমান্তরাল পথে অগ্রসর হইবে।

উপরের তিনটি রশ্মির যে-কোন দুইটির সাহায্যে কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব নির্ণয় করা যায়। আমরা দেখিব যে, গোলায় দর্পণের দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের আকৃতি, অবস্থান ইত্যাদি দর্পণ হইতে বস্তুটির দূরত্বের উপর নির্ভরশীল।

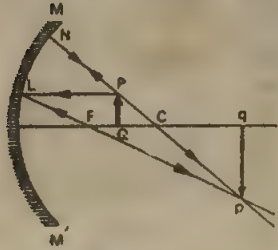
● অবতল দর্পণ-কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন :

(i) বস্তুটি বক্রতা-কেন্দ্র ও অসীম দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত : PQ বস্তুটিকে একটি দর্পণ MM'-এর অক্ষের উপর লম্বভাবে রাখা হইয়াছে (চিত্র 3.25)। P-বিন্দু হইতে একটি আলোক-রশ্মি PL প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে দর্পণের L-বিন্দুতে আপতিত হইয়া প্রতিফলনের পর F-বিন্দু দিয়া LF-পথে যাইবে। আবার, PN-রশ্মি দর্পণের N বিন্দুতে লম্বভাবে আপতিত হইয়া একই পথে ফিরিয়া গিয়া বক্রতা-কেন্দ্র C-এর মধ্য দিয়া যায়। প্রতিফলিত রশ্মি LF এবং NC পরস্পরকে p বিন্দুতে ছেদ করে। সুতরাং, p বিন্দুতে P-বিন্দুর সদ্বিষ সৃষ্টি হয়। p হইতে অক্ষের উপর pq লম্ব টানা হইল। pq-ই PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব। এখানে প্রতিবিম্ব সদ্বশীর্ষ ও আকারে বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইবে।



চিত্র 3.25

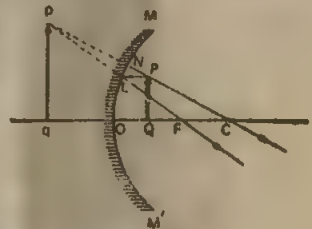
(ii) বস্তুটি ফোকাস ও বক্রতা-কেন্দ্রের মধ্যে অবস্থিত : PQ বস্তুটি ফোকাস F এবং বক্রতা-কেন্দ্র C-এর মাঝামাঝি অবস্থিত (চিত্র 3.26)। P-বিন্দু হইতে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল করিয়া PL-রশ্মি টানা হইয়াছে। উহা প্রতিফলনের পর F-বিন্দু দিয়া যাইবে। আবার PN রশ্মিটি দর্পণের গায়ে লম্বভাবে আপতিত হইয়া প্রতিফলনের পর বক্রতা-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অগ্রসর হইবে। প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয় পরস্পর p-বিন্দুতে মিলিত হয়। p-বিন্দু হইতে প্রধান অক্ষের উপর pq লম্ব টানা হইল। ইহাই PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব।



চিত্র 3.26

প্রতিবিম্বটি সদ্ব, অবশীর্ষ ও বিবর্ধিত (real, inverted and magnified)।

(iii) বস্তুটি মেরু ও ফোকাসের মাঝামাঝি অবস্থিত : PQ বস্তুটি MM' দর্পণের মেরু O এবং ফোকাস F-এর মধ্যে অবস্থিত (চিত্র 3.27)। C-বিন্দুটি দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র। P-বিন্দু হইতে নির্গত PL রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে দর্পণে আপতিত হইয়াছে এবং প্রতিফলিত হইয়া F-বিন্দু দিয়া গিয়াছে। অপর একটি রশ্মি PN লম্বভাবে দর্পণের N-বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে (অর্থাৎ, বর্ধিত NP-রেখা C-বিন্দু দিয়া যাইতেছে)। প্রতিফলনের পর এই রশ্মি NPC পথে ফিরিয়া আসিবে। এই দুই প্রতিফলিত রশ্মি অপসারী বলিয়া উহারা কোন বিন্দুতে মিলিত হইবে না, তবে পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে p-বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। p-বিন্দু হইতে অক্ষের উপর pq লম্ব টানা হইল। ইহাই PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব।

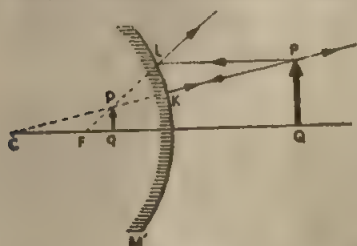


চিত্র 3.27

এই প্রতিবিম্বটি অসদ্ব। অর্থাৎ, বস্তু-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের কম হইলে অবতল দর্পণ-কর্তৃক অসদ্ব-বিম্বের সৃষ্টি হয়।

● উত্তল দর্পণ-কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন : পূর্বের আলোচনা হইতে দেখা যাইতেছে যে, অবতল দর্পণ-কর্তৃক বস্তুর সদৃশ ও অসদৃশ দুই-ই গঠিত হইতে পারে। কিন্তু উত্তল দর্পণে প্রতিবিম্ব সর্বদাই অসদৃশ হয়।

মনে করি,  $MM'$  একটি উত্তল দর্পণ (চিত্র 3.28)।  $PQ$  উহার অক্ষস্থিত একটি বস্তু।  $P$  বিন্দু হইতে বক্রতা-কেন্দ্র  $C$ -বিন্দুগামী আলোক-রশ্মি দর্পণের  $K$ -বিন্দুতে লম্বভাবে আপতিত হইয়া  $KP$  অভিমুখে ফিরিয়া যাইবে। অপর একটি



চিত্র 3.28

রশ্মি- $PL$  অক্ষের সহিত সমান্তরালভাবে আপতিত হইয়া প্রতিফলনের পর ফোকাস  $F$  হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হয়। উক্ত প্রতিফলিত রশ্মি দুইটিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে উহারা  $p$ -বিন্দুতে ছেদ করে। অর্থাৎ, প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয়  $p$ -বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। অতএব,  $p$ -বিন্দুতে  $P$ -বিন্দুর অসদৃশ গঠিত হইবে।

$p$ -বিন্দু হইতে অক্ষের উপর  $pq$  লম্ব টানা হইল। ইহাই  $PQ$  বস্তুর অসদৃশ প্রতিবিম্ব। বস্তুর সকল অবস্থানের জন্যই প্রতিবিম্ব অসদৃশ হইবে। বস্তুটিকে দর্পণ হইতে যত দূরে লইয়া যাওয়া হইবে, প্রতিবিম্ব তত ছোট হইবে।

### 3.15 গোলাীয় দর্পণের সূত্র

অবতল দর্পণ : 3.29 নং চিত্রে  $PQ$  একটি বিস্তৃত বস্তু,  $pq$  ইহার প্রতিবিম্ব। স্পষ্টতই  $\triangle PCQ$  এবং  $\triangle pCq$  দ্বিভুজদ্বয় সদৃশ। সুতরাং,

$$PQ/pq = CQ/Cq \quad \dots \quad (i)$$

$L$ -বিন্দু হইতে অক্ষের উপর  $LR$  লম্ব টানা হইল।  $\triangle LRF$  ও  $\triangle pqF$  দ্বিভুজদ্বয় সদৃশ বলিয়া লেখা যায়,

$$LR/pq = RF/Fq \quad \dots \quad (ii)$$

কিন্তু  $LR = PQ$ ।

সুতরাং, (ii) হইতে লেখা যায়,

$$PQ/pq = RF/Fq \quad \dots \quad (iii)$$

সমীকরণ (i) ও (iii) হইতে পাই,

$$CQ/Cq = RF/Fq \quad \dots \quad (iv)$$

মনে করি,  $OQ =$  বস্তু-দূরত্ব  $u$ ,

$Oq =$  প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v$ ,  $OC =$  বক্রতা-

ব্যাসার্ধ  $r$ ,  $OF =$  ফোকাস-দৈর্ঘ্য  $f$ ।

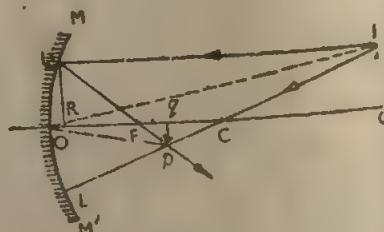
চিত্রের প্রচলিত রীতি-অনুসারে এখানে সকল দৈর্ঘ্য ধনাত্মক।

$$\therefore CQ = OQ - OC = u - r = u - 2f$$

$$Cq = CO - Oq = r - v = 2f - v$$

$$Fq = Oq - OF = v - f$$

$$RF = OF = f$$



চিত্র 3.29



( $\therefore$  বিন্দুটি অক্ষের খুব কাছাকাছি ধরিলে O-বিন্দু এবং R-বিন্দু কার্ভত একই স্থানে অবস্থিত বলিয়া ধরা যায়।)

(iv) নং সমীকরণে CQ, Cq, Fq এবং RF-এর উপরি-উক্ত মান বসাইয়া পাই,

$$\frac{u-2f}{2f-v} = \frac{f}{v-f}$$

বহুগুণন করিয়া পাই,  $uv - 2fv - uf + 2f^2 = 2f^2 - vf$

$$\text{বা, } uf + vf = uv$$

উভয়পক্ষকে  $uvf$  দ্বারা ভাগ করিয়া পাই,  $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$  ... (3.2)

$$\text{আবার, } f = \frac{r}{2} \text{ বলিয়া, } \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{2}{r} \quad \dots (3.3)$$

সমীকরণ (3.2) ও (3.3) হইতে বস্তুর অবস্থান এবং প্রতিবিম্বের অবস্থানের সম্পর্ক পাওয়া যাইতেছে। এই সমীকরণ দুইটিকে গোলীয় দর্পণের সূত্র বলা হয়।

**উত্তল দর্পণ :** উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রেও অনুরূপ সমীকরণ পাওয়া যায়। মনে করি, PQ একটি উত্তল দর্পণের

অক্ষস্থিত বস্তু (চিত্র 3.30)। pq অবস্থানে ইহার অসদ্বিষ্ম গঠিত হইয়াছে। এখন,  $\triangle PCQ$  এবং  $\triangle pCq$  ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ বলিয়া,

$$PQ/pq = CQ/Cq \quad \dots (i)$$

L-বিন্দু হইতে অক্ষের উপর LR লম্ব টানা হইল।  $\triangle LFR$  এবং  $\triangle pFq$  ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ বলিয়া

$$LR/pq = FR/Fq \quad \dots (ii)$$

$$\text{কিন্তু } LR = PO \text{ বলিয়া (ii) হইতে পাই, } PQ/pq = FR/Fq \quad \dots (iii)$$

$$\text{সমীকরণ (i) ও (iii) হইতে লিখিতে পারি, } CQ/Cq = FR/Fq \quad \dots (iv)$$

এখন,  $OQ = u$  (বস্তুর দূরত্ব) এবং  $Oq = -v$  (প্রতিবিম্বের দূরত্ব)

(চিহ্নের প্রচলিত রীতি-অনুসারে  $Oq$  ঋণাত্মক বলিয়া)

চিহ্নের রীতি-অনুসারে উত্তল দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ ও ফোকাস-দৈর্ঘ্য উভয়ই ঋণাত্মক বলিয়া লিখিতে পারি,

$$OC = \text{বক্রতা-ব্যাসার্ধ} = -r \text{ এবং } OF = \text{ফোকাস-দৈর্ঘ্য} = -f$$

$$\therefore CQ = OQ + CO = u - r = u - 2f$$

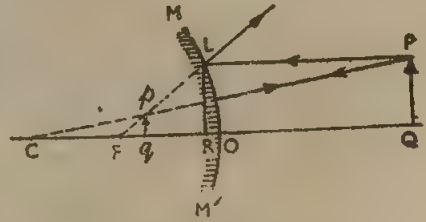
$$Cq = OC - Oq = -r - (-v) = -r + v = -2f + v$$

$$FR = OF = -f \text{ (L-বিন্দুটি অক্ষের কাছাকাছি ধরিয়া)}$$

$$Fq = OF - Oq = -f - (-v) = v - f$$

(iv) নং সমীকরণে CQ, Cq, FR এবং Fq-এর উপরি-উক্ত মানগুলি বসাইয়া পাই,

$$\frac{u-2f}{-2f+v} = \frac{-f}{v-f}$$



চিত্র 3.30

বা,  $2f^2 - vf = uv - 2fv - fu + 2f^2$  বা,  $fu + fv = vu$

উভয় পক্ষকে  $uvf$  দ্বারা ভাগ করিয়া পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \dots \quad (3.4)$$

$$f = \frac{r}{2} \text{ বলিয়া, } \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{2}{r} \quad \dots \quad (3.5)$$

সমীকরণ (3.4) এবং (3.5) যথাক্রমে সমীকরণ (3.2) এবং (3.3)-এর অনুরূপ।

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, চিত্রের রীতি অনুসরণ করিলে উত্তল এবং অবতল—উভয় দর্পণের ক্ষেত্রে একই সমীকরণ পাওয়া যায়।

### 3.16 বিবর্ধন (Magnification)

প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা এবং বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতার অনুপাতকে রৈখিক বিবর্ধন (linear magnification) বলে। বিবর্ধনকে  $m$ -অক্ষর দ্বারা সূচিত করিলে লেখা যায়,

$$m = \frac{\text{প্রতিবিম্বের উচ্চতা}}{\text{বস্তুর উচ্চতা}} = \frac{pq}{PQ} \quad \dots \quad (i)$$

অবতল দর্পণ-কর্তৃক গঠিত একটি সদ্বিষ্মের ক্ষেত্রে বিবর্ধনের মান নির্ণয় করা যায়। 3.29 নং চিত্রে PQ-রশ্মিটি প্রতিফলনের পর Op অভিমুখে যাইবে। আপতন কোণ এবং প্রতিফলন কোণ সমান বলিয়া  $\angle POQ = \angle qOp$  হইবে। সুতরাং,  $\triangle POQ$  এবং  $\triangle qOp$  সদৃশকোণী।

$$\therefore m = \frac{pq}{PQ} = \frac{Oq}{OQ} = \frac{v}{u}$$

লক্ষণীয় যে, সদ্বিষ্ম গঠিত হইলে বিবর্ধন ধনাত্মক।

অনুরূপভাবে দেখান যায় যে, অসদ্বিষ্মের ক্ষেত্রে বিবর্ধনের মান ঋণাত্মক।

$$\text{অর্থাৎ, এক্ষেত্রে, } m = -\frac{v}{u}$$

ইহার কারণ এই যে, অসদ্বিষ্ম সর্বদা দর্পণের পিছনে গঠিত হয় বলিয়া এক্ষেত্রে প্রতিবিষ্ম-দূরত্ব  $v$ -এর মান ঋণাত্মক।

### 3.17 অনুবন্ধী বিন্দু বা অনুবন্ধী ফোকাস (Conjugate foci)

গোলীয় দর্পণের ক্ষেত্রে প্রতিবিষ্ম-দূরত্ব নিম্নের সমীকরণ মানিয়া চলে—

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

উপরি-উক্ত সমীকরণের  $u$ -এর পরিবর্তে  $v$  বসাইলে এবং  $v$ -এর পরিবর্তে  $u$  বসাইলে সমীকরণটি অপরিবর্তিত থাকে। ইহার তাৎপৰ্য এই যে, কোন বিন্দুতে বস্তু রাখিলে যে-স্থানে প্রতিবিষ্ম গঠিত হয়, সেই বিন্দুতে বস্তু রাখিলে প্রথম বিন্দুতে প্রতিবিষ্ম গঠিত হইবে। সেইজন্য কোন দর্পণের ক্ষেত্রে বস্তুর অবস্থান ও প্রতিবিষ্মের অবস্থানকে পরস্পরের অনুবন্ধী বিন্দু বা অনুবন্ধী ফোকাস বলে। অর্থাৎ, কোন দর্পণের অনুবন্ধী বিন্দু

বলিতে এমন দুইটি বিন্দুকে যুগ্মর যাহার যে-কোন একটিতে কোন বস্তু রাখিলে অন্যটিতে উহার প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।

### 3.18 প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়ে গ্রাফ পেপার

সাদা কাগজে রশ্মিচিত্র আঁকিয়া বিভিন্ন বস্তু-দূরত্বের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের গঠন নির্ণয়ের পদ্ধতি আলোচিত হইয়াছে। লক্ষণীয় যে, ফোকাস-দূরত্ব এবং বস্তু-দূরত্বকে একই স্কেলে প্রকাশ করিয়া রশ্মিচিত্র আঁকিলে ঐ অঙ্কন হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্বও নির্ণয় করা যাইবে। এজন্য মিটার-স্কেলের সাহায্যে দপণের মেরু হইতে প্রতিবিম্বের অবস্থানের দূরত্ব মাপিয়া লইতে হয়।

গ্রাফ পেপার কিংবা ছক কাগজে (graph paper) রশ্মিচিত্র আঁকিলে মিটার স্কেলের ব্যবহার এড়ানো যায়। ইহার কারণ এই যে, ছক কাগজে প্রতিবিম্ব আঁকিয়া সন্মসরি প্রতিবিম্ব-দূরত্বের মান পাওয়া যায়।

### 3.19 গোলাক দপণের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয়

পরীক্ষাগারে সাধারণত যে-পদ্ধতিতে অবতল দপণ এবং উত্তল দপণের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা হয় তাহা নিয়ে আলোচনা করা হইল।

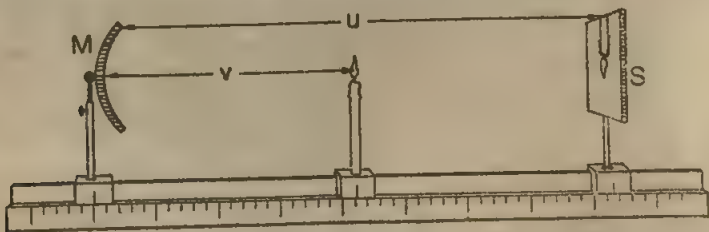
(a) অবতল দপণের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় : রশ্মিচিত্রের সাহায্যে দেখান হইয়াছে যে, কোন বস্তুকে একটি অবতল দপণের মেরু হইতে উহার ফোকাস-দূরত্ব অপেক্ষা বেশি দূরত্বে রাখিলে বস্তুটির একটি অবশীর্ষ বা উল্টান সর্দবিম্ব গঠিত হয়। এক্ষেত্রে দপণের মেরু হইতে বস্তুর দূরত্ব ( $u$ ) এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব ( $v$ )-এর সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \dots (i)$$

এখানে  $f$  হইল দপণের প্রতিবিম্ব। কাজেই, কোন নির্দিষ্ট  $u$ -এর ক্ষেত্রে  $v$ -এর মান নির্ণয় করিয়া উপরের সমীকরণ হইতে অবতল দপণের ফোকাস-দূরত্ব নির্ধারণ করা যায়।

এ উদ্দেশ্যে সাধারণত দুইটি পদ্ধতি কাজে লাগান হয় : (i)  $u-v$  পদ্ধতি এবং (ii) প্যারালাল পদ্ধতি।

(i)  $u-v$  পদ্ধতি : একটি অপটিক্যাল বেণ্ডের উপর দাঁড় করান তিনটি ধারকের একটিতে পরীক্ষাধীন অবতল দপণ, একটিতে মোমবাতি এবং অন্যটিতে একটি ঘষা কাচের



চিত্র 3.31

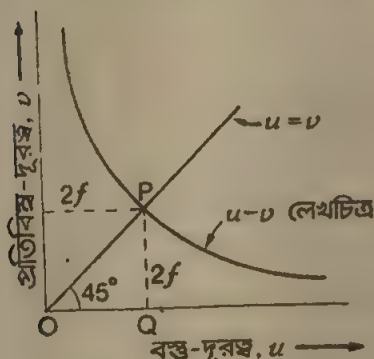
প্লেট আটকানো আছে ( চিত্র 3.31 )। অপটিক্যাল বেণ্ডের স্কেল হইতে এই ধারকগুলির অবস্থানের পাঠ লওয়া যায়।



মোমবাতিটিকে দর্পণের কিছুটা দূরে রাখিয়া ঘষা কাচের পর্দাটো দর্পণের দিকে আগাইয়া লইয়া গিয়া কিংবা দর্পণ হইতে দূরে সরাইয়া লইয়া গিয়া ঘষা কাচের পর্দায় মোমবাতির অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠনের চেষ্টা করিতে হইবে। ঘষা কাচের পর্দায় কোন অবস্থানের ক্ষেত্রেই যদি ঐ পর্দায় প্রতিবিম্ব গঠিত না হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, বস্তু-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্ব অপেক্ষা কম। সেক্ষেত্রে দর্পণ হইতে মোমবাতির দূরত্ব বাড়াইয়া পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করিতে হইবে।

পর্দায় মোমবাতির সূক্ষ্ম প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে অণুটিক্যাল বেণ্ডের স্কেল হইতে দর্পণের অবস্থান, মোমবাতির অবস্থান এবং ঘষা কাচের পর্দার অবস্থানের পাঠ লইতে হইবে। এই তিন পাঠ হইতে বস্তু-দূরত্ব ( $u$ ) এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ( $v$ )-এর মান পাওয়া যাইবে। (i) নং সমীকরণে  $u$  এবং  $v$ -এর এই পরীক্ষালব্ধ মান বসাইয়া  $f$ -এর মান গণনা করা যায়।

ফোকাস-দূরত্ব  $f$ -এর নির্ভুল মান পাইবার জন্য সাধারণত বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা হয়। বস্তু-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের দ্বিগুণ অপেক্ষা কম হইলে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের দ্বিগুণ অপেক্ষা বেশি হয়। আবার, বস্তু-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের দ্বিগুণ অপেক্ষা বেশি হইলে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের দ্বিগুণ অপেক্ষা কম হয়। মোমবাতি এবং পর্দার পরিবর্তে দুইটি পিন ব্যবহার করিয়া প্যারালাক্স পদ্ধতিতে  $u$ -এর বিভিন্ন মানের ক্ষেত্রে আনুষঙ্গিক  $v$ -এর মান নির্ণয় করা যায়।  $u$  এবং  $v$ -এর এই মানগুলি ব্যবহার করিয়া একটি  $u-v$  লেখচিত্র অঙ্কন করা যায়। এই লেখচিত্রের আকৃতি 3.32 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। এই লেখচিত্র অঙ্কনে  $u$



চিত্র 3.32

এবং  $v$ -এর মান প্রকাশের জন্য একই স্কেল ব্যবহার করিতে হইবে।  $u-v$  লেখচিত্রটি প্রকৃতপক্ষে (i) নং সমীকরণের লেখচিত্র।

এইবার, মূলবিন্দু O-এর মধ্য দিয়া  $u$ -অক্ষের সহিত  $45^\circ$  কোণ করিয়া একটি সরলরেখা অঙ্কন করা হইল। স্পষ্টতই এই সরলরেখার সমীকরণ

$$u = v \quad \dots \quad (ii)$$

এই সরলরেখা যে-বিন্দুতে  $u-v$  লেখচিত্রকে ছেদ করিবে সেই বিন্দুতে  $u$  এবং  $v$ -এর মান কত তাহা (i) এবং (ii) নং সমীকরণ দুইটি সমাধান করিয়া পাওয়া

যাইবে।

সমাধান করিয়া দেখা যাইবে যে,  $u-v$  লেখচিত্র এবং উক্ত সরলরেখার ছেদবিন্দুতে  $u=v=2f$  হইবে। ছেদবিন্দু P হইতে  $u$  অক্ষের উপর PQ লম্ব টানা হইল। স্পষ্টতই, মূলবিন্দু হইতে Q বিন্দুর দূরত্ব  $2f$ । কাজেই, লেখচিত্র হইতে OQ-এর মান দেখিয়া লইয়া উহা হইতে  $f$ -এর মান নির্ণয় করা যায়।

(ii) স্বান্বশী বিন্দু পদ্ধতি (Self-conjugate point method) : দর্পণের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব দূরত্ব  $v$  এবং বস্তু-দূরত্ব  $u$ -এর সম্পর্ক নিম্নরূপ :

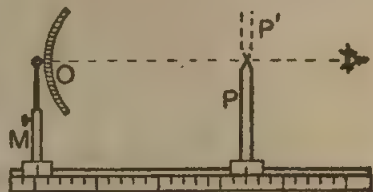
$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

কাজেই,  $u=r$  হইলে  $v=r$  হইবে।

অর্থাৎ, অবতল দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্রে কোন বস্তুকে রাখিলে বক্রতা-কেন্দ্রেই উহার অবশীর্ষ সর্দিম্ব গঠিত হয়। অবতল দর্পণের এই ধর্ম কাজে লাগাইয়া প্যারালাক্স পদ্ধতিতে অবতল দর্পণের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করা যায়।

একটি অপটিক্যাল বেঞ্চে বা কোন টেবিলে দণ্ডায়মান একটি ধারক (M) বা স্ট্যান্ডের উপর পরীক্ষাধীন অবতল দর্পণটি লাগান হইল। অন্য একটি ধারকে (S) খাড়াভাবে একটি পিন (P) লাগান হইল। অবতল দর্পণের সামনে পিনটিকে এমন উচ্চতায় রাখা হইল যাহাতে উহার অগ্রভাগ এবং দর্পণের মেরু একই অনুভূমিক তলে থাকে। পিনটিকে অবতল দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব অপেক্ষা বেশি দূরত্বে রাখিয়া দর্পণের দিকে তাকাইলে পিনের একটি অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে।

সাধারণত পিনের অবস্থান এবং ইহার অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব একই স্থানে অবস্থিত হয় না। যদি পিন এবং ইহার প্রতিবিম্ব পরস্পর সমাপতিত না হয় তাহা হইলে চোখের অবস্থান সরাইলে পিন এবং ইহার প্রতিবিম্বের মধ্যে প্যারালাক্স বা লম্বন ঘুটি (parallax) দেখা যায়। পিনের অবস্থানের পরিবর্তন করিয়া উহাকে এমন স্থানে রাখিতে হইবে যাহাতে



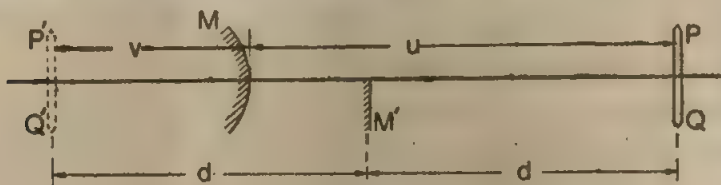
চিত্র 3.33

পিনের অগ্রভাগ এবং ইহার অবশীর্ষ প্রতিবিম্বের অগ্রভাগ পরস্পর সমাপতিত হয়। এই-রূপ হইলে চোখের অবস্থান বদলাইয়া পিন এবং প্রতিবিম্বের মধ্যে কোন লম্বন ঘুটি দেখা যাইবে না। এই অবস্থায় দর্পণের মেরু হইতে পিনের দূরত্ব  $r$ -এর সমান হইবে। এই দূরত্বকে 2 দিয়া ভাগ করিলে অবতল দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব পাওয়া যাইবে।

(b) উত্তল দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় : একটি সমতল দর্পণের সাহায্য লইয়া সহজেই উত্তল দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা যায়। পরীক্ষাধীন উত্তল দর্পণের সামনে একটি লম্বা পিন PQ এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে দর্পণের প্রধান অক্ষের দুই দিকেই পিনের বিস্তৃতি সমান হয়।

এখন, প্রধান অক্ষ বরাবর উত্তল দর্পণের দিকে তাকাইলে পিনটির একটি খাঁঁত, সমশীর্ষ এবং অসদৃ প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। ইহার পর উত্তল দর্পণের উন্মেষ (aperture)-এর নিচের অর্ধাংশে ঢাকিয়া একটি সমতল দর্পণ রাখা হইল। সমতল দর্পণেও পিনের একটি প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। প্রধান অক্ষ বরাবর চোখ রাখিয়া দর্পণ দুইটির দিকে তাকাইলে সমতল দর্পণে পিনের নিম্নার্ধের প্রতিবিম্ব এবং উত্তল দর্পণে পিনের উপরের অর্ধাংশের প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। সমতল দর্পণের অবস্থানের পরিবর্তন করিয়া উহাকে এমন অবস্থানে রাখা যায় যাহাতে উত্তল দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্ব এবং সমতল

দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্ব পরস্পর সমাপতিত হয়। এই অবস্থায় চোখ সরাইয়া এই দুই প্রতিবিম্বের মধ্যে কোন প্যারালাক্স দেখা যাইবে না।



চিত্র 3.34

উত্তল দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্ব সমতল দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্বের সহিত সমাপতিত হইলে 3.34 নং চিত্র হইতে লেখা যায়,

$$v = 2d - u$$

এখানে  $u$  = উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব এবং  $v$  = উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব। কাজেই,  $d$  এবং  $u$ -এর মান হইতে  $v$ -এর মান নির্ণয় করা যায়। ইহার পর  $u$  এবং  $v$ -এর মান হইতে সহজেই  $f$ -এর মান নির্ধারণ করা যায়।

### 3.20 দর্পণের প্রকৃতি-নির্ণায়নের সহজ উপায়

কোন দর্পণ সমতল, উত্তল, নাকি অবতল তাহা সহজে কীভাবে নির্ধারণ করা যায়? নিয়ে তাহা আলোচনা করা হইল।

সমতল দর্পণের সম্মুখে কোন বস্তু রাখিলে প্রতিবিম্বটি সর্বদা অসদৃ এবং আকারে বস্তুর সমান হয়। অবতল দর্পণের খুব নিকটে কোন বস্তু রাখিলে প্রতিবিম্ব অসদৃ এবং আকারে বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর হয়। আবার, উত্তল দর্পণের সম্মুখে কোন বস্তু রাখিলে প্রতিবিম্ব অসদৃ, কিন্তু বস্তু অপেক্ষা আকারে ছোট হয়। কাজেই কোন পরীক্ষাধীন দর্পণ অবতল, উত্তল, নাকি সমতল তাহা নির্ধারণ করিবার জন্য নিম্নের পরীক্ষাটি করা যায়।

দর্পণটির খুব নিকটে একটি বস্তু (যেমন, হাতের একটি আঙ্গুল, কিংবা একটি পেন্সিল) রাখা হইল। যদি প্রতিবিম্বটি বস্তুর সমান হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, পরীক্ষাধীন দর্পণটি সমতল, যদি প্রতিবিম্বটি বস্তু অপেক্ষা আকারে বড় হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, দর্পণটি অবতল এবং যদি প্রতিবিম্বটি বস্তু অপেক্ষা ছোট হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, দর্পণটি উত্তল।

### 3.21 গোলাকীয় দর্পণের কয়েকটি ব্যবহার (Some uses of spherical mirrors)

(i) দাড়ি কামাইবার আয়না (Shaving mirror) : অবতল দর্পণের ফোকাস এবং মেবুর মধ্যে কোন বস্তু রাখিলে দর্পণে উহার সমশীর্ষ এবং বিবর্ধিত অসদৃশ্য গঠিত হয় (চিত্র 3.27)। দীর্ঘ ফোকাস-দূরত্বসম্পন্ন কোন অবতল দর্পণের যথেষ্ট কাছে কেহ মুখ আনিলে তিনি আয়নার তাহার বিবর্ধিত ও সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবেন। দেখার সুবিধার জন্য চোখ এবং প্রতিবিম্বের দূরত্ব 25 cm অপেক্ষা বেশি হওয়া প্রয়োজন,



কেননা ইহা অপেক্ষা কাছের জিনিসকে স্বাভাবিক দৃষ্টিসম্পন্ন মানুষ স্পষ্টভাবে দেখিতে পায় না। (এ সম্পর্কে সপ্তম পরিচ্ছেদে বিস্তারিত আলোচনা করা হইবে।) দাড়ি কামাইবার সময় অনেকে এইরূপ আয়না ব্যবহার করেন।

(ii) মোটরগাড়ির ভিউ-ফাইন্ডার (View-finder of automobile) : পিছন হইতে কোন যানবাহন আসিতেছে কিনা মোটরগাড়ির চালকের পক্ষে তাহা দেখা দরকার। এক্ষেত্রে সম্মুখের দৃষ্টি অব্যাহত রাখিতে হয় বলিয়া চালকের সম্মুখে বড় আকারের দর্পণ ব্যবহার করা যায় না। এই উদ্দেশ্যে উত্তল দর্পণের ব্যবহার বিশেষ সুবিধাজনক। উত্তল দর্পণ সর্বদা বস্তুর খর্বিত (reduced) এবং অসদৃশ্য গঠন করে। এক্ষেত্রে আয়নাটি ক্ষুদ্রাকার হইলেও চালক তাহার পিছনের অনেকটা কৌণিক বিস্তারের মধ্যে অবস্থিত যানবাহন ও অন্যান্য বস্তু দেখিতে পায়।

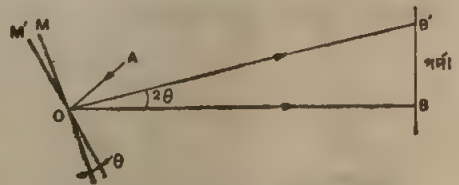
(iii) প্রতিফলক দূরবীণ (Reflecting telescope) : প্রতিফলক দূরবীণে অবতল দর্পণের ব্যবহার আছে। বড় উন্মেষ (aperture)-বিশিষ্ট লেন্সের তুলনায় বড় উন্মেষবিশিষ্ট দর্পণ তৈয়ারী করা সহজতর এবং কম ব্যয়সাপেক্ষ। এইজন্য বড় উন্মেষসম্পন্ন দূরবীণে লেন্সের পরিবর্তে অবতল দর্পণ ব্যবহৃত হয়। দূরবীণে বর্ণাপেরণ (chromatic aberration) থাকা বাঞ্ছনীয় নয়। লেন্সকে বর্ণাপেরণমুক্ত করা ব্যয়সাধ্য। দর্পণে বর্ণাপেরণ থাকে না বলিয়া দূরবীণে দর্পণ ব্যবহার করা সুবিধাজনক।

• সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণনী •

**উদাহরণ 3.1** একটি আলোক-রশ্মি সমতল দর্পণে আপতিত হইল। দর্পণের তলের উপর আপতিত রশ্মির সহিত লম্বভাবে অবস্থিত অক্ষের উপর দর্পণটিকে  $1^\circ$  ঘোরান হইল। ইহাতে প্রতিফলিত রশ্মির সহিত লম্বভাবে স্থাপিত পর্দার উপর দিয়া প্রতিফলিত রশ্মি-কর্তৃক উৎপন্ন উজ্জ্বল আলোক-চিহ্নটি কতটা দূরত্ব সরিবে? ধরিয়া লও যে, পর্দাটি দর্পণ হইতে 3.6 m দূরে অবস্থিত।

**সমাধান :** আমরা জানি যে, কোন সমতল দর্পণকে উহার তলে আপতিত রশ্মির সহিত লম্বভাবে অবস্থিত অক্ষের উপর  $\theta$  কোণে ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মিটি  $2\theta$  কোণ ঘুরিয়া যায়।

মনে করি, AO রশ্মিটি দর্পণের O বিন্দুতে আপতিত হইয়া পর্দার B বিন্দুতে লম্বভাবে (প্রস্থানুসারে) আপতিত হয়। O-এর মধ্য দিয়া দর্পণের প্রতিফলক তলে AO রশ্মির সহিত লম্বভাবে অক্ষের উপর দর্পণকে  $\theta$  কোণ ঘুরাইয়া M হইতে M' অবস্থানে আনা হইল। ইহাতে প্রতিফলিত রশ্মি OB অভিমুখ হইতে বিকল্প হইয়া OB' অভিমুখে বাইবে।



চিত্র 3.35

স্পষ্টতই,  $\angle BOB' = 2\theta$  ... (i)

এখন, 3.35 নং চিত্রানুসারে,  $\frac{BB'}{OB} = \tan 2\theta$

বা, পর্দার আলোক-চিহ্নের সরণ,  $BB' = OB \tan 2\theta$  ... (ii)

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $OB = 3.6 \text{ m} = 360 \text{ cm}$

এবং  $\theta$  ক্ষুদ্র বলিয়া,  $\tan 2\theta = 2\theta = 2 \times \frac{\pi}{180} \text{ rad}$

কাজেই,  $BB' = OB \times \tan 2\theta = 360 \times 2 \times \frac{\pi}{180} \text{ cm} = 4\pi \text{ cm} = 12.56 \text{ cm}$

**উদাহরণ 3.2** অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের সহিত লম্বভাবে  $3 \text{ cm}$  উচ্চতাবিশিষ্ট একটি বস্তুকে ঐ দর্পণ হইতে  $40 \text{ cm}$  দূরে রাখা হইল। দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব  $25 \text{ cm}$  হইলে প্রতিবিম্বের অবস্থান এবং আকার নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

সমাধান : দর্পণটি অবতল বলিয়া ইহার ফোকাস-দূরত্ব,  $f = +25 \text{ cm}$

প্রস্থানুসারে,  $u = 40 \text{ cm}$

সুতরাং,  $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$  সমীকরণ হইতে পাই,  $\frac{1}{v} + \frac{1}{40} = \frac{1}{25}$

বা,  $\frac{1}{v} = \frac{1}{25} - \frac{1}{40} = \frac{3}{200}$  বা,  $v = \frac{200}{3} = 66.67 \text{ cm}$

এক্ষেত্রে  $v$  ধনাত্মক বলিয়া প্রতিবিম্বটি সদ্ (real) এবং ইহা দাঁড় হইতে  $66.67 \text{ cm}$  দূরত্বে অবস্থিত।

এক্ষেত্রে, বিবর্ধন,  $m = \frac{v}{u} = \frac{200/3}{40} = \frac{5}{3}$

$\therefore$  প্রতিবিম্বের আকার  $= m \times$  বস্তুর আকার  $= \frac{5}{3} \times 3 \text{ cm} = 5 \text{ cm}$

**উদাহরণ 3.3** একটি অবতল দর্পণ-কর্তৃক পর্দার উপর একটি বস্তুর চারগুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হইল। দর্পণ হইতে বস্তুর দূরত্ব  $60 \text{ cm}$  হইলে দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব এবং দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব কত হইবে?

সমাধান : প্রস্থানুসারে, বিবর্ধন ( $m$ )  $= \frac{\text{প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v)}}{\text{বস্তুর দূরত্ব (u)}} = 4$

$\therefore v = 4u = 4 \times 60 \text{ cm} = 240 \text{ cm}$

যেহেতু প্রতিবিম্বটি পর্দায় গঠিত হইয়াছে, সুতরাং উহা সদ্। অর্থাৎ এক্ষেত্রে  $v$  ঋণাত্মক। মনে করি, দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব  $= f \text{ cm}$

আমরা জানি,  $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$\therefore \frac{1}{f} = \frac{1}{240} + \frac{1}{60} = \frac{5}{240}$   $\therefore f = 48 \text{ cm}$

**উদাহরণ 3.4**  $3 \text{ cm}$  দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি বস্তু  $5 \text{ cm}$  ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল দর্পণ হইতে  $10 \text{ cm}$  দূরে বসান হইল। বস্তুটির প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকার নির্ণয় কর।

সমাধান : দর্পণটি উত্তল বলিয়া ইহার ফোকাস-দূরত্ব ঋণাত্মক। সুতরাং, প্রস্থানুসারে,  $f = -5 \text{ cm}$  এবং বস্তু-দূরত্ব ( $u$ )  $= 10 \text{ cm}$

মনে করি, নির্ণেয় প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $= v \text{ cm}$

এখন,  $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{5} - \frac{1}{10} = -\frac{3}{10} \therefore v = -\frac{10}{3} \text{ cm}$$

প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ঋণাত্মক বলিয়া এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটি অসদৃ এবং সমশীর্ষ। ইহা দর্পণের পশ্চাদ্ভাগে  $\frac{10}{3}$  cm দূরে গঠিত হইবে; আমরা জানি,

$$\text{বিবর্ধন} = \frac{\text{প্রতিবিম্ব-দূরত্ব}}{\text{বস্তু-দূরত্ব}} = \frac{10/3}{10} = \frac{1}{3}$$

$$\therefore \text{প্রতিবিম্বের আকার} = m \times \text{বস্তুর আকার} = \frac{1}{3} \times 3 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$$

**উদাহরণ 3.5** 1.77 cm উচ্চতাবিশিষ্ট একটি বস্তুকে 23 cm বক্রতা-ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি অবতল দর্পণ হইতে 1 metre দূরে বসান হইল। প্রতিবিম্বটির উচ্চতা কত হইবে? প্রতিবিম্বটি সদৃ, কি অসদৃ?

**সমাধান :** দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ,  $r = 23$  cm, ইহা ঋণাত্মক, কেননা, দর্পণটি অবতল। প্রশ্নানুসারে,  $u = 1 \text{ metre} = 100 \text{ cm}$

$$\text{আমরা জানি, } \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{2}{r}$$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{2}{r} - \frac{1}{u} = \frac{2}{23} - \frac{1}{100} = \frac{177}{2300} \therefore v = \frac{2300}{177} \text{ cm}$$

$$\text{সুতরাং বিবর্ধন } m = \frac{v}{u} = \frac{2300}{177 \times 100} = \frac{23}{177}$$

$$\therefore \text{প্রতিবিম্বের উচ্চতা} = \text{বিবর্ধন} \times \text{বস্তুর উচ্চতা} = \frac{23}{177} \times 1.77 = 0.23 \text{ cm}$$

**উদাহরণ 3.6** 25 ft দীর্ঘ কোন ঘরের দেওয়ালে একটি গোলায় দর্পণ ঝুলানো আছে। দর্পণটির সম্মুখে 11 ft দূরে একটি উজ্জ্বল বস্তু রাখা আছে। ঘরের বিপরীত দেওয়ালে বস্তুটির একটি প্রতিবিম্ব গঠন করিতে হইলে দর্পণটির প্রকৃতি কী হওয়া উচিত। ইহার ফোকাস-দূরত্ব বা কত হইতে হইবে? গঠিত প্রতিবিম্বটির প্রকৃতি কী হইবে?

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1974]

**সমাধান :** প্রশ্নানুসারে, বস্তু-দূরত্ব  $u = 11 \text{ ft}$  এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v = 25 \text{ ft}$

গোলায় দর্পণের গঠিত প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{25} + \frac{1}{11} = \frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } f = \frac{25 \times 11}{36} \text{ ft} = 7.63 \text{ ft}$$

ফোকাস-দূরত্ব ঋণাত্মক বলিয়া এক্ষেত্রে গোলায় দর্পণটি অবতল। এক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব উভয়ে ঋণাত্মক বলিয়া,

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{v}{u} = \frac{25 \text{ ft}}{11 \text{ ft}} = 2.27$$

এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটি সদৃ, অবশীর্ষ এবং 2.27 গুণ বিবর্ধিত হয়।

**উদাহরণ 3.7** 40 cm ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট একটি গোলায় দর্পণের অক্ষের উপর 2 cm দীর্ঘ একটি বস্তুকে ঋণাত্মকভাবে বসান হইল। দর্পণের মেরু হইতে বস্তুটির দূরত্ব 60 cm; (i)



দর্পণটি অবতল হইলে এবং (ii) দর্পণটি উত্তল হইলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, আকার ও প্রকৃতি নির্ণয় কর।

সমাধান : (i) দর্পণটি অবতল হইলে লেখা যায়,  $f = \frac{r}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm}$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $u = 60 \text{ cm}$

দর্পণের সমীকরণ হইতে পাই,  $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$$\text{বা, } \frac{1}{v} + \frac{1}{60} = \frac{1}{20} \quad \text{বা, } v = 30 \text{ cm}$$

সুতরাং, দর্পণ হইতে 30 cm দূরে প্রতিবিম্বটি গঠিত হইবে। এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটি সদ্ এবং অবশীর্ণ। এক্ষেত্রে রৈখিক বিবর্ধন,

$$m = \frac{v}{u} = \frac{30}{60} = \frac{1}{2} \quad \therefore \text{প্রতিবিম্বের আকার} = m \times \text{বস্তু আকার} = \frac{1}{2} \times 2 = 1 \text{ cm}$$

(ii) দর্পণটি উত্তল হইলে লেখা যায়,  $f = \frac{r}{2} = \frac{-40}{2} = -20 \text{ cm}$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $u = 60 \text{ cm}$

দর্পণের সমীকরণ হইতে পাই,  $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$$\text{বা, } \frac{1}{v} + \frac{1}{60} = -\frac{1}{20} \quad \text{বা, } v = -15 \text{ cm}$$

সুতরাং, দর্পণের পিছনের দিকে 15 cm দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। এই প্রতিবিম্ব অসদ্ ও সমশীর্ণ। এক্ষেত্রে রৈখিক বিবর্ধন,

$$m = \frac{v}{u} = \frac{-15}{60} = -\frac{1}{4} \quad \therefore \text{প্রতিবিম্বের আকার} = \frac{1}{4} \times 2 = \frac{1}{2} \text{ cm}$$

দাঁড়-সংক্ষেপ

আলো যখন একটি মাধ্যমের মধ্য দিয়া সঞ্চারিত হইয়া অন্য মাধ্যমে আপতিত হয় তখন ঐ দুই মাধ্যমের বিভেদতল হইতে আলোর একাংশ পুনরায় প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। ইহাকে আলোর প্রতিফলন বলা হয়। প্রতিফলন দুই প্রকার—(i) নিম্নমিত প্রতিফলন এবং (ii) বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন। প্রতিফলক মসৃণ হইলে প্রতিফলন নিম্নমিত এবং প্রতিফলক অমসৃণ হইলে প্রতিফলন বিক্ষিপ্ত হয়।

নিম্নমিত প্রতিফলনের সূত্র দুইটি নিম্নরূপ :

প্রথম সূত্র : আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে প্রতিফলক তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে থাকে।

দ্বিতীয় সূত্র : আপতন কোণ এবং প্রতিফলন কোণ পরস্পর সমান হয়।

যদি কোন বিন্দু হইতে নিঃসৃত আলোক-রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া অন্য কোন বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয় বা অন্য কোন বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় তবে দ্বিতীয় বিন্দুটিকে প্রথম বিন্দুটির প্রতিবিম্ব বলে। প্রতিবিম্ব দুই

প্রকার—সদ্বিবীক্ষ এবং অসদ্বিবীক্ষ। কোন বিন্দু হইতে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া যখন অন্য কোন বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয় তখন দ্বিতীয় বিন্দুটিকে প্রথম বিন্দুর সদ্বিবীক্ষ বলা হয়। প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ যখন অন্য এক বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় তখন দ্বিতীয় বিন্দুটিকে প্রথম বিন্দুটির অসদ্বিবীক্ষ বলা হয়। সদ্বিবীক্ষকে পর্দায় ফেলা যায়, কিন্তু অসদ্বিবীক্ষ পর্দায় ফেলা যায় না।

সমতল দর্পণে বস্তুর অসদ্বিবীক্ষ গঠিত হয়। এক্ষেত্রে দর্পণ হইতে বস্তু-দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব দূরত্ব পরস্পর সমান হয়। সমতল দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্ব পাশ্চ-পরিবর্তন ঘটে। ইহার ফলে প্রতিবিম্ব ডানদিক-বামদিক উল্টাইয়া যায়।

আপতিত রশ্মি স্থির রাখিয়া সমতল দর্পণকে আপতন তলে  $\alpha$  কোণ ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি  $2\alpha$  কোণ ঘোরে।

দুইটি সমান্তরাল সমতল দর্পণের মধ্যে একটি বস্তু রাখিলে অসীম সংখ্যক প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

$\theta$  কোণে আনত ( $\theta$  যখন  $2\pi$ -এর সরল গুণিতক) দুইটি সমতল দর্পণের সম্মুখে একটি বস্তু স্থাপন করিলে গঠিত প্রতিবিম্বের সংখ্যা  $n = \left( \frac{2\pi}{\theta} - 1 \right)$  হইবে।

কোন গোলায় তলের বাহিরের দিক প্রতিকলকের মত ক্রিয়া করিলে উহাকে উত্তল দর্পণ (convex mirror) বলা হয়; এবং কোন গোলায় তলের ভিতরের দিক প্রতিফলক তলের মত ক্রিয়া করিলে উহাকে অবতল দর্পণ (concave mirror) বলা হয়।

গোলায় দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব ( $f$ ) উহার বক্রতা-ব্যাসার্ধ ( $r$ )-এর অর্ধেক। গোলায় দর্পণের সাহায্যে গঠিত প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব ( $u$ )-এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব, ( $v$ )-এর সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

প্রশ্নাবলী 3

### হুম্বোল্ডের প্রশ্নাবলী

1. (i) অসদ্বিবীক্ষের আলোকচিত্র লওয়া সম্ভব কি? (ii) সমতল দর্পণ ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি কতটা ঘুরিবে? ব্যাখ্যাসহ উত্তর দাও। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]
2. সিনেমার পর্দাকে অমসৃণ এবং সাদা করা হয় কেন? পর্দা মসৃণ হইলে কী ক্ষতি হইত? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]
3. সমতল দর্পণের সাহায্যে সদ্বিবীক্ষ গঠিত হইতে পারে কি?
4. প্রমাণ কর যে, কোন সমতল দর্পণকে  $\theta$  কোণ ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি  $2\theta$  কোণ ঘুরিয়া যাইবে। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981] কীভাবে দর্পণটিকে ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি ঘুরিবে না? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]
5. দেখাও যে, পরস্পরের সহিত সমকোণে আনত দুইটি সমতল দর্পণের যে-কোন একটিতে কোন আলোক-রশ্মি আপতিত হইলে দুইবার প্রতিফলনের পর ঐ প্রতিফলিত রশ্মি আপতিত রশ্মির সমান্তরাল হইবে।

6. দুইটি সমতল দর্পণ এমনভাবে আনত আছে যে, যে-কোন একটি দর্পণে যে-কোন কোণে আপতিত রশ্মি দর্পণ দুইটি হইতে প্রতিফলিত হইবার পর প্রতিফলিত রশ্মিটি আপতিত রশ্মির সহিত সমান্তরাল হয়। দর্পণ দুইটির মধ্যবর্তী কোণের মান নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]

7. প্রমাণ কর যে, আপন দৈর্ঘ্যের অর্ধেকের কম দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট সমতল দর্পণের সম্মুখে দণ্ডায়মান কোন দর্শক তাহার সম্পূর্ণ দেহের প্রতিবিম্ব দেখিতে পায় না।

8. দেখাও যে, কোন বস্তু  $v$  cm/sec বেগে সমতল দর্পণের দিকে ছুটিয়া গেলে প্রতিবিম্ব  $2v$  cm/sec বেগে বস্তুর দিকে আগাইতে থাকে।

9. দুইটি সমান্তরাল সমতল দর্পণ পরস্পর হইতে  $a$  cm দূরে মুখোমুখি স্থাপিত আছে। একটি ক্ষুদ্র উজ্জ্বল আলোক-উৎস উহাদের মধ্যে একটি দর্পণ হইতে  $b$  cm দূরে রাখা হইল। চার বার প্রতিফলনের দ্বারা যে-প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হইবে, উৎস হইতে তাহার দূরত্ব নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1984]

10. প্রমাণ কর যে, একটি বিন্দু-উৎস সমতল দর্পণ হইতে ষত দূরে অবস্থিত উহার অসদ্বিষ দর্পণ হইতে ঠিক ততটা দূরে অবস্থিত, এবং উৎস ও উহার প্রতিবিম্বের সংযোগী সরলরেখা দর্পণের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত।

11. যে-জ্বলাশয়ে টেড আছে কোন বিন্দু-উৎস হইতে আগত আলো ঐ জ্বলাশয়ে আপতিত হইলে প্রতিবিম্ব লম্বাটে আকার ধারণ করে। ব্যাখ্যা কর।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

12. একটি ঘরের দেওয়ালে ন্যূনতম কী আকারের সমতল দর্পণ স্থাপন করিলে ঘরের মধ্যস্থলে দণ্ডায়মান কোন ব্যক্তি ঐ দর্পণের দিকে তাকাইলে তাহার পিছনের দেওয়াল সম্পূর্ণ দেখিতে পাইবে?

[দেওয়ালের আকারের এক-তৃতীয়াংশ]

13. কোন দর্পণ অবতল, উত্তল, নাকি সমতল তাহা কীরূপে স্থির করিবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]

14. দেখাও যে, যদি কোন আলোক-রশ্মি পরস্পর একটি কোণে আনত দুইটি সমতল দর্পণে পর পর প্রতিফলিত হয় তাহা হইলে রশ্মিটির মোট বিচ্যুতি আপতন কোণের উপর নির্ভর করে না।

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1974]

15. A ও B সমতল দর্পণ দুইটি পরস্পর  $60^\circ$  কোণে আনত আছে। A দর্পণের সহিত সমান্তরালভাবে একটি রশ্মি B দর্পণে আপতিত হইল। দেখাও যে, দ্বিতীয় প্রতিফলনের পর প্রতিফলিত রশ্মিটি B দর্পণের সমান্তরাল হইবে। প্রতিফলনের পর রশ্মিটির বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982] [ $120^\circ$ ]

16. দুইটি সমতল দর্পণ  $\theta$  কোণে আনত। একটি আপতিত রশ্মি দ্বিতীয় দর্পণের সমান্তরালভাবে প্রথম দর্পণে আপতিত হইল। তারপর প্রতিফলিত হইয়া দ্বিতীয় দর্পণে আপতিত হইল এবং সেখানে প্রতিফলিত হইয়া প্রথম দর্পণের সমান্তরালভাবে নির্গত হইল।  $\theta$  কোণের মান নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1967]

17. (i) দাড়ি কামানোর সময় এবং (ii) মোটরগাড়ির চালকের পাশে কীরূপ দর্পণ ব্যবহার করা হয় এবং কেন?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]



### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

18. সমতল দর্পণে প্রতিফলনের সূত্র দুইটি লিখ। এই দুপ প্রতিফলন দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের বে-পাখ-পরিবর্তন হয় তাহা চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]

19. আলোর প্রতিফলন বলিতে কী বুঝ? নিরঙ্গিত এবং বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের মধ্যে পার্থক্য কী?

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1983]

20. প্রতিবিম্ব বলিতে কী বুঝ? সদ্বিষ এবং অসদ্বিষ কাহাকে বলে? ইহাদের মধ্যে পার্থক্য কী?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

21. আলোর প্রতিফলনের সূত্রগুলি বিবৃত কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981]  
একটি পেরিস্কোপের গঠন-পদ্ধতি ও কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

22. সংজ্ঞা লিখ : (a) গোলায় দর্পণের মেনু, (b) বক্রতা-ব্যাসার্ধ, (c) ফোকাস-দূরত্ব। ফোকাস-দূরত্ব ও বক্রতা ব্যাসার্ধের সম্পর্ক কী?

23. (a) অবতল দর্পণের প্রতিফলনের ক্ষেত্রে  $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$  সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।  
 $u$ ,  $v$  এবং  $f$  সাধারণভাবে বাহ্যি বুঝায় তাহাই বুঝাইতেছে।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

(b) উত্তল গোলায় দর্পণের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব এবং ফোকাস-দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

24. গোলায় দর্পণের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব  $u$ , প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v$ , ফোকাস-দূরত্ব  $f$  এবং বক্রতা-ব্যাসার্ধ  $r$ -এর নিম্নের সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর—

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

[সংসদের মন্যনা প্রস্তাব, 1978, উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1979, 1981]

25. উত্তল দর্পণে প্রতিফলন দ্বারা বিস্তৃত বস্তুর (extended object) প্রতিবিম্ব গঠন চিত্রসহ বুঝাইয়া লিখ। বস্তু-দূরত্ব, প্রতিবিম্ব দূরত্ব এবং দর্পণের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]

26. রশ্মিচিত্রের সাহায্যে গোলায় দর্পণ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি কীরূপে নির্ণয় করা যায়? উদাহরণসহ উত্তর দাও।

27. (a) একটি অবতল দর্পণের অক্ষের উপর উহার মুখ্য ফোকাস এবং বক্রতা-কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্বে একটি বস্তু রাখা হইলে বস্তুটির প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে, তাহা রশ্মিচিত্রের সাহায্যে দেখাও।

(b) একটি গোলায় দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধনের ব্যঞ্জক (expression) নির্ণয় কর।

(c) চিত্র সহযোগে একটি পেরিস্কোপের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

## গাণিতিক প্রশ্নাবলী

28. দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পরের সহিত কত কোণ করিয়া থাকিলে দ্বিতীয় দর্পণের সহিত সমান্তরালভাবে প্রথম দর্পণে আপতিত রশ্মি দ্বিতীয় দর্পণে প্রতিফলিত হইবার পর একই পথে ফিরিয়া যাইবে? [45°]

29. 4.2 m উচ্চতা বিশিষ্ট একটি ঘরের দেওয়ালে একটি সমতল দর্পণ টাঙানো আছে। উক্ত দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে কত হইলে ঘরের মধ্যস্থলে দণ্ডায়মান এক ব্যক্তি ঐ দর্পণে তাহার পিছনের দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978] [1.4 m]

30. দুইটি দর্পণের মধ্যবর্তী নতিকোণ কত হইলে একটি আলোক-রশ্মি একটি দর্পণের সহিত সমান্তরালভাবে আপতিত হইয়া দুইটি প্রতিফলনের পর অপর দর্পণের সহিত সমান্তরালভাবে অগ্রসর হইবে? [60°]

31. 6 ft দীর্ঘ এক ব্যক্তি একটি উল্লম্ব দর্পণে তাহার পূর্ণাঙ্গ প্রতিবিম্ব দেখিতে চায়। দর্পণটির ন্যূনতম দৈর্ঘ্য কত হইলে ইহা সম্ভব হইবে? [3 ft]

32. 25 cm ফোকাস-দূরত্ব-বিশিষ্ট কোন অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের সহিত লম্বভাবে একটি বস্তু রাখা হইল এবং দর্পণ হইতে 100 cm সম্মুখে একটি প্রতিবিম্ব গঠিত হইল। বস্তুটির অবস্থান এবং প্রতিবিম্বের বিবর্ধন নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]

33.  $f$  cm ফোকাস-দূরত্ব-বিশিষ্ট একটি অবতল দর্পণ হইতে কত দূরে একটি বস্তু রাখিলে  $n$  গুণ বিবর্ধিত একটি সদৃশ গঠিত হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981] [ $(n+1)f/n$  cm]

34. কোন উত্তল দর্পণ-কর্তৃক বস্তুর আকারের  $1/n$  গুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হইল। দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব  $f$  হইলে দেখাও যে, বস্তুটিকে দর্পণ হইতে  $(n-1)f$  দূরত্বে রাখিতে হইবে।

35. একটি উত্তল দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের বিবর্ধন  $\frac{1}{P}$ । দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব  $f$  হইলে বস্তু-দূরত্ব নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983] [ $(P-1)f$ ]

36. একটি দেওয়ালের 3 m দূরে 3 cm উচ্চতা-বিশিষ্ট একটি প্রদীপ রাখা হইল। একটি অবতল দর্পণকে কোথায় রাখিলে দেওয়ালের উপর প্রদীপটির 9 cm দীর্ঘ প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে? অবতল দর্পণটির ফোকাস-দূরত্বই বা কত হইবে?

[দেওয়াল হইতে 4.5 m দূরে, ফোকাস-দূরত্ব  $f = 112.5$  cm]

37. দুই ফুট ব্যাস-বিশিষ্ট অবতল দর্পণ হইতে বস্তুকে কত দূরে রাখিলে উহার তিনগুণ বিবর্ধিত সদৃশ এবং কত দূরে রাখিলে তিনগুণ বিবর্ধিত অসদৃশ গঠিত হইবে?

[ $\frac{1}{3}$  ft,  $\frac{2}{3}$  ft]

38. একটি অবতল দর্পণ 10 cm দূরে অবস্থিত একটি বস্তুর দ্বিগুণ আকৃতির একটি অসদৃশ প্রতিবিম্ব গঠন করে। বস্তুটি দর্পণ হইতে 30 cm দূরে রাখিলে প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে? প্রতিবিম্বের আকৃতি ও প্রকৃতি কী হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1979]

[প্রতিবিম্ব-দূরত্ব +60 cm; 2 গুণ বিবর্ধিত; সদৃশ ও অবলম্বিত]

39. একটি উত্তল দর্পণের সম্মুখে উঁহা হইতে 28 cm দূরে একটি বস্তু স্থাপন করিলে দর্পণের 12 cm পশ্চাতে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। দর্পণটির বক্রতা-ব্যাসার্ধ কত এবং বস্তুর তুলনায় প্রতিবিম্বের আকার কীৰূপ? [অক্সফোর্ড স্কুল সাৰ্টিফিকেট] [42 cm, 3 : 7]
40. একটি অবতল দর্পণ কোন পর্দার উপর একটি বস্তুর দুইগুণ বিবৰ্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে। এইবার, বস্তু ও পর্দাকে সরাইয়া এমন ভাবে রাখা হইল যাহাতে প্রতিবিম্বের উচ্চতা বস্তুর উচ্চতার তিনগুণ হয়? যদি ইহার জন্য পর্দাকে 25 cm সরাইতে হয় তাহা হইলে বস্তুটিকে কতটা সরাইতে হইবে? দর্পণটির ফোকাস-দূরত্বই বা কত? [4.17 cm, 52 cm]

### অটিলতর গাণিতিক প্রক্লাবলী

41. দুইটি সমান্তরাল সমতল দর্পণে পাঁচবার প্রতিফলিত হইয়া একটি দর্পণ হইতে 1 cm দূরে অবস্থিত কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব ঐ দর্পণের 17 cm পশ্চাতে গঠিত হইল। দর্পণ দুইটির দূরত্ব কত? [4 cm]
42. একটি বস্তুকে একটি উত্তল দর্পণ হইতে 50 cm দূরে রাখা হইল। একটি সমতল দর্পণ স্থাপন করিয়া উত্তল দর্পণটির নিম্নাৰ্ধ আবৃত করা হইল। দেখা গেল যে, বস্তু এবং দর্পণের দূরত্ব 30 cm হইলে দর্পণ দুইটির দ্বারা গঠিত দুই প্রতিবিম্বের মধ্যে কোন পারালাক্স নাই। উত্তল লেন্সটির বক্রতা-ব্যাসার্ধ কত? [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেষ্ট, 1973] [25 cm]
43. একটি অবতল দর্পণের সম্মুখে একটি বস্তু রাখা হইল। দর্পণটি একটি পর্দার উপর বস্তুটির ত্রিগুণ বিবৰ্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করিল। এইবার বস্তুটিকে এমন অবস্থানে লইয়া যাওয়া হইল যাহাতে পর্দাটিকে দর্পণ হইতে আরও 20 cm সরাইলে উহার উপর বস্তুটির তিনগুণ বিবৰ্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। বস্তুটির সরণ এবং দর্পণটির ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় কর। [3½ cm, 20 cm]
44. একটি উত্তল দর্পণ এবং একটি অবতল দর্পণকে পরস্পর 30 cm দূরে মুখোমুখি স্থাপন করা হইল। উভয় দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ 20 cm। ইহাদের ঠিক মাঝামাঝি একটি ক্ষুদ্র বস্তু স্থাপন করা হইল। প্রথমে অবতল দর্পণে এবং পরে উত্তল দর্পণে প্রতিফলনের ফলে গঠিত প্রতিবিম্বটি কোথায় গঠিত হইবে? [উত্তল দর্পণের মেরুতে]
45. একটি অবতল দর্পণ এবং একটি উত্তল দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 30 cm এবং 50 cm। ইহারা মুখোমুখি পরস্পর হইতে 70 cm দূরে স্থাপিত আছে। 5 cm দীৰ্ঘ একটি বস্তুকে দর্পণদ্বয়ের মাঝামাঝি উহাদের সাধারণ অক্ষের উপর লম্বভাবে অবতল দর্পণ হইতে 20 cm দূরে স্থাপন করা হইল। যদি প্রথমে অবতল দর্পণে এবং ইহার পর উত্তল দর্পণে প্রতিফলন ঘটে তাহা হইলে চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটির অবস্থান এবং আকার নির্ণয় কর। [উত্তল দর্পণের পিছনে উঁহা হইতে 7.14 cm দূরে, 10.72 cm]





## আলোর প্রতিসরণ

Light is the symbol of truth.

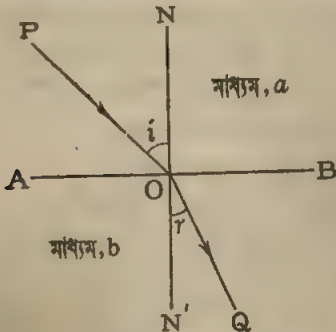
J. R. Lowell

### 4.1 আলোর প্রতিসরণ (Refraction of light)

কোন সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলো সরলরেখা বরাবর চলে, কিন্তু যখন আলো এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন উহার গমনপথ বাঁকিয়া যায়। প্রকৃতপক্ষে দুইটি বিভিন্ন মাধ্যমের বিভেদতলে একটি আলোক-রশ্মি আপতিত হইলে ইহার এক অংশ প্রতিফলিত হইয়া প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। আর এক অংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করে। দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করিবার সময় আলোক-রশ্মিটি পূর্বের গতিপথ হইতে বিচ্যুত হইয়া কিছুটা বাঁকিয়া যায়। এক মাধ্যম হইতে অপর মাধ্যমে যাইবার সময় আলোর গতির অভিমুখের এই পরিবর্তনকে প্রতিসরণ বলা হয়। ইহাই প্রতিসরণের প্রচলিত সংজ্ঞা।

কিন্তু এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, আলোক-রশ্মি যখন দুই মাধ্যমের বিভেদতলের উপর লম্বভাবে আপতিত হয় তখন দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করিবার সময় আলোক-রশ্মির গতিপথের কোনরূপ পরিবর্তন হয় না। প্রতিসরণের সকল ক্ষেত্রে আলোক-রশ্মির গতিপথের পরিবর্তন ঘটে না বলিয়া প্রতিসরণের উপরি-উক্ত সংজ্ঞাটি অসম্পূর্ণ। এই পরিপ্রেক্ষিতে 'প্রতিসরণ'-এর নিম্নরূপ বিকল্প সংজ্ঞা দেওয়া হয়।

এক মাধ্যম হইতে আসিয়া যখন কোন আলোক-রশ্মি দুই মাধ্যমের বিভেদ-তলে আপতিত হয় তখন সাধারণত ইহার এক অংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করে। দুই মাধ্যমের বিভেদ-তলে আপতিত আলোক-রশ্মির একাংশের দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশের এই প্রক্রিয়াকে প্রতিসরণ বলা হয়। প্রতিসরণের সময় সাধারণত আলোক-রশ্মির গমনপথের পরিবর্তন হয়।



চিত্র 4.1

মনে করি, একটি আলোক-রশ্মি কোন মাধ্যম  $a$ -এর মধ্য দিয়া  $PO$  সরলরেখা বরাবর আসিয়া অপর একটি মাধ্যম  $b$ -এর বিভেদতল  $AB$ -এর উপর  $O$  বিন্দুতে আপতিত হইল (চিত্র 4.1)। দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করিবার সময় আলোক-রশ্মিটি বাঁকিয়া  $OQ$  পথে অগ্রসর হইল। এক্ষেত্রে,  $PO$  রশ্মিটি আপতিত রশ্মি এবং  $OQ$  রশ্মিটি প্রতিসৃত রশ্মি (refracted ray)।

আপতন বিন্দু  $O$ -এর মধ্য দিয়া দুই মাধ্যমের বিভেদতল  $AB$ -এর উপর অভিলম্ব  $NN'$  অঙ্কন করা হইল। এখানে,  $PON$

কোণটি হইল আপতন কোণ এবং QON কোণটি হইল প্রতিসরণ কোণ (angle of refraction)। চিত্রে আপতন কোণকে  $i$  দ্বারা এবং প্রতিসরণ কোণকে  $r$  দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।

## 4.2 প্রতিসরণের সূত্রাবলী

প্রতিফলনের ন্যায় প্রতিসরণও কয়েকটি নির্দিষ্ট নিয়ম অনুসারে হইয়া থাকে। নিম্নে প্রতিসরণের সূত্র দুইটি উল্লেখ করা হইল।

**প্রথম সূত্র :** আপতন বিন্দুতে দুই মাধ্যমের বিভেদতলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব, আপতিত রশ্মি এবং প্রতিসৃত রশ্মি একটি সমতলে অবস্থান করে।

**দ্বিতীয় সূত্র :** একবর্ণী কোন আলোক-রশ্মি দুইটি মাধ্যমের বিভেদতলে প্রতিসৃত হইলে আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুবক হইবে। এই ধ্রুবককে প্রতিসরাঙ্ক (refractive index) বলা হয়। গাণিতিক সূত্রে এই সূত্রটিকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায়,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \mu \quad \dots (4.1)$$

এখানে ' $\mu$ '-অক্ষর দ্বারা প্রতিসরাঙ্ক সূচিত হইয়াছে। এই সূত্রকে স্নেলের সূত্র (Snell's law) বলা হয়।

প্রতিসরাঙ্ক মাধ্যমের প্রকৃতির উপর এবং আলোর বর্ণের উপর নির্ভর করে।

## 4.3 সাপেক্ষ ও পরম প্রতিসরাঙ্ক

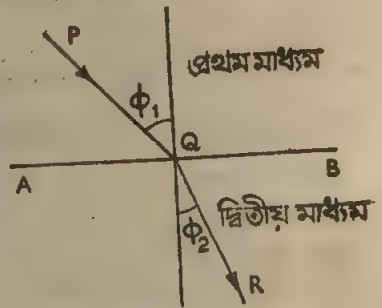
(Relative and absolute refractive indices)

মনে করি, PQ আলোক-রশ্মি দুইটি মাধ্যমের বিভেদতল AB-এর উপর  $\phi_1$  কোণে আপতিত হইয়াছে (চিত্র 4.2)। প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের সাহিত  $\phi_2$  কোণ করিয়াছে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণের মান  $\phi_2$ । স্নেলের সূত্র অনুসারে,

$$\frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} = {}_1\mu_2 \quad \dots (4.2)$$

এখানে  ${}_1\mu_2$ -চিহ্নটি প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বুঝায়। ইহাকে সাপেক্ষ প্রতিসরাঙ্ক বা আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক বলা হয়।

শূন্য স্থানে র সাপেক্ষে কোন একটি মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ককে বলা হয় পরম প্রতিসরাঙ্ক। অর্থাৎ, যদি প্রথম মাধ্যমটি শূন্যস্থান (vacuum) হয়, তাহা হইলে আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে দ্বিতীয় মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক বলা হয়। সাধারণভাবে আমরা কোন মাধ্যমকে বায়ুতে রাখিয়া উহার উপর আলো ফেলিয়া প্রতিসরণ লক্ষ্য করি এবং প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করি। এই প্রতিসরাঙ্ককেই আমরা সাধারণত ঐ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিয়া থাকি। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে ইহা



চিত্র 4.2

মাধ্যমের নিরপেক্ষ বা পরম প্রতিসরাঙ্ক নয়। তবে বায়ুর সাপেক্ষে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সহিত উহার পরম প্রতিসরাঙ্কের ব্যবধান খুবই সামান্য। সাধারণ ক্ষেত্রে আমরা এই ব্যবধান উপেক্ষা করিতে পারি।

আলোর তরঙ্গ মতবাদ হইতে দেখা যায় যে, প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক

$${}_1\mu_2 = \frac{\text{প্রথম মাধ্যমে আলোর গতিবেগ } (v_1)}{\text{দ্বিতীয় মাধ্যমে আলোর গতিবেগ } (v_2)} \quad \dots (4.3)$$

সুতরাং, কোন মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক

$$\mu = \frac{\text{শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ } (c)}{\text{আলোচ্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ } (v)}$$

বিভিন্ন মাধ্যমে আলোর পরম প্রতিসরাঙ্কের মান বিভিন্ন। নিম্নে কয়েকটি সাধারণ পদার্থের পরম প্রতিসরাঙ্কের মান দেওয়া হইল। আলোর বর্ণের পরিবর্তনের দ্বারা প্রতিসরাঙ্কের মান যে-পরিবর্তন হয় তাহা সাধারণত খুবই কম। প্রতিসরাঙ্কে তিনটি সার্থক অঙ্কের (significant figures) দ্বারা প্রকাশ করিলে প্রতিসরাঙ্কের মানের সহিত আলোর বর্ণের উল্লেখ করা অর্থহীন। কাজেই, নিম্নের তালিকায় বিভিন্ন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের যে-মান দেওয়া হইল তাহা সকল দৃশ্য আলোর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য ধরা যাইবে।

কয়েকটি সাধারণ পদার্থের প্রতিসরাঙ্কের তালিকা

পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক	পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক
ক্রাউন কাচ	1.48—1.6	ইথাইল অ্যালকোহল	1.36
ফ্লিন্ট কাচ	1.53—1.96	ক্লোরোফর্ম	1.45
হীরক	2.42	জলপাই তেল	1.46
বরফ	1.31	বেঞ্জিন	1.50
জল	1.33	গ্লিসারিন	1.47
টার্পিন তেল	1.47	কার্বন ডাই-সালফাইড	1.63

#### 4.4 আলোক ঘনত্ব (Optical density)

কোন আলোক-রশ্মি একটি মাধ্যম হইতে যখন অপর কোন মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন ঐ রশ্মির প্রতিসরণ কোণের মান আপতন কোণ অপেক্ষা কমও হইতে পারে, বেশিও হইতে পারে। প্রতিসরণ কোণ ( $r$ ) আপতন কোণ ( $i$ ) অপেক্ষা বেশি হইবে কি কম হইবে তাহা নির্ভর করে প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক  ${}_1\mu_2$ -এর মানের উপর।

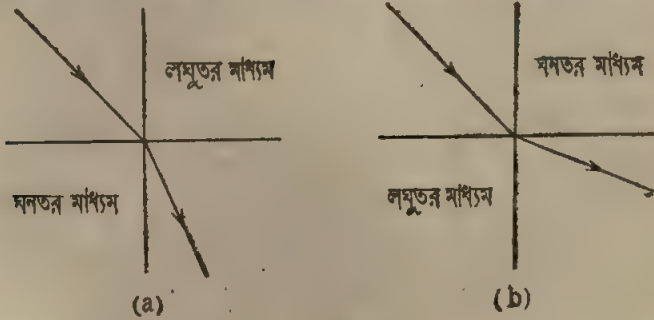
যদি  ${}_1\mu_2$ -এর মান এক অপেক্ষা বেশি হয় তবে  $\sin i / \sin r = {}_1\mu_2 > 1$

অর্থাৎ,  $\sin i > \sin r$  বা,  $i > r$  হইবে।

এইরূপ ক্ষেত্রে আলোক-রশ্মি প্রতিসরণের পর অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায় (চিত্র 4.3 a)।

আবার,  ${}_1\mu_2$ -এর মান যদি এক অপেক্ষা কম হয় তবে  $\sin i / \sin r = {}_1\mu_2 < 1$  অর্থাৎ,  $\sin i < \sin r$  বা,  $i < r$  হইবে (চিত্র 4.3 b)।

এক্ষেত্রে আলোক-রশ্মি প্রতিসরণের পর অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায়। যখন প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এক অপেক্ষা বেশি তখন প্রথম মাধ্যমকে লঘুতর মাধ্যম (optically rarer) এবং দ্বিতীয় মাধ্যমকে ঘনতর মাধ্যম



চিত্র 4.3

(optically denser) বলা হয়। অপরপক্ষে, প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এক অপেক্ষা কম হইলে দ্বিতীয় মাধ্যমকে লঘুতর মাধ্যম এবং প্রথম মাধ্যমকে ঘনতর মাধ্যম বলা হয়। অর্থাৎ, দুইটি মাধ্যমের মধ্যে যাহার পরম প্রতিসরাঙ্কের মান বেশি তাহাকে ঘনতর মাধ্যম এবং যাহার পরম প্রতিসরাঙ্কের মান কম তাহাকে লঘুতর মাধ্যম বলা হয়। লক্ষণীয় যে, দুইটি মাধ্যমের মধ্যে যে-মাধ্যমে আলোর গতিবেগ অপেক্ষাকৃত বেশি তাহাকে লঘুতর মাধ্যম এবং যে-মাধ্যমে আলোর গতিবেগ অপেক্ষাকৃত কম তাহাকে ঘনতর মাধ্যম বলা হয়। প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যায় যে, মাধ্যমের আলোক-ঘনত্বের (optical density) সহিত উহার প্রাকৃতিক ঘনত্ব (physical density) বা আপেক্ষিক গুরুত্বের কোন সম্পর্ক নাই।

#### 4.5 ${}_1\mu_2$ এবং ${}_2\mu_1$ -এর সম্পর্ক

মনে করি, একটি আলোক-রশ্মি কোন সমসত্ত্ব মাধ্যমের মধ্য দিয়া AO পথে আসিয়া দ্বিতীয় একটি মাধ্যমের বিভেদতলের O বিন্দুতে আপতিত হইল এবং ঐ তলে প্রতিসৃত হইয়া OB পথে দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করিল (চিত্র 4.4 i)

কাজেই, প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক

$${}_1\mu_2 = \frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} \dots (i)$$

[এক্ষেত্রে  $\phi_1$  = আপতন কোণ এবং  $\phi_2$  = প্রতিসরণ কোণ]

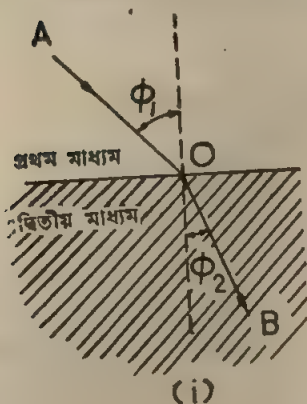
আলোর প্রত্যাবর্ততার নীতি (principle of reversibility of light) হইতে আমরা সিদ্ধান্তে আসিতে পারি যে, কোন আলোক-রশ্মি যদি দ্বিতীয় মাধ্যমের মধ্য দিয়া BO পথে আসিয়া দুই মাধ্যমের বিভেদতলে O বিন্দুতে আপতিত হয় তাহা হইলে প্রতিসরণের পর উহা OA পথে যাইবে [চিত্র 4.4 (ii)]।



কাজেই, দ্বিতীয় মাধ্যমের সাপেক্ষে প্রথম মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক

$${}_2\mu_1 = \frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_1} \quad \dots \quad (ii)$$

[ এক্ষেত্রে  $\phi_2$  = আপতন কোণ  $\phi_1$  = প্রতিসরণ কোণ ]



(i)



(ii)

চিত্র 4.4

কাজেই, (i) এবং (ii) হইতে লেখা যায়,

$${}_1\mu_2 \times {}_2\mu_1 = \frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} \times \frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_1} = 1$$

$$\text{বা, } {}_1\mu_2 = \frac{1}{{}_2\mu_1}$$

... (4.4)

অর্থাৎ, প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক

$$= \frac{1}{\text{দ্বিতীয় মাধ্যমের সাপেক্ষে প্রথম মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক}}$$

#### 4.6 স্বচ্ছ সমান্তরাল ফলকে আলোক প্রতিসরণ

${}_1\mu_2$  এবং  ${}_2\mu_1$ -এর উপরের সম্পর্কটি হইতে দেখান যায় যে, বায়ুতে বিদ্যমান সমান্তরাল তলবিশিষ্ট কোন স্বচ্ছ ব্রকের এক পৃষ্ঠে একটি আলোক-রশ্মি আপতিত হইলে উহা ব্রকের অন্য পৃষ্ঠ দিয়া আপতিত রশ্মির সমান্তরালভাবে বাহির হইয়া আসে। ইহা সহজেই প্রমাণ করা যায়।

মনে করি, AO রশ্মিটি একটি স্বচ্ছ সমান্তরাল ফলকের প্রথম পৃষ্ঠে O বিন্দুতে কোণে আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর OB পথে গিয়া ফলকটির দ্বিতীয় পৃষ্ঠের B বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে (চিত্র 4.5)। ধরি, OB রশ্মিটি B বিন্দুতে প্রতিসৃত হইয়া BC পথে অগ্রসর হইল। মনে করি, এক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ =  $\phi$ ।

লক্ষণীয় যে, ফলকটির আলোচ্য দুই পৃষ্ঠ সমান্তরাল বলিয়া B বিন্দুতে আপতন কোণ O বিন্দুতে প্রতিসরণ কোণ r-এর সমান হইবে।

প্রথম পৃষ্ঠে প্রতিসরণ বিবেচনা করিয়া লেখা যায়,

বায়ুর সাপেক্ষে ফলকটির উপাদানের

প্রতিসরাঙ্ক,

$${}_1\mu_2 = \frac{\sin i}{\sin r} \quad \dots (i)$$

দ্বিতীয় পৃষ্ঠে আলোর প্রতিসরণ বিবেচনা

করিয়া লেখা যায়,

$${}_2\mu_1 = \frac{\sin r}{\sin \phi} \quad \dots (ii)$$

কিন্তু আমরা জানি যে,

$${}_1\mu_2 = \frac{1}{{}_2\mu_1} \quad \dots (iii)$$

কাজেই, (i) এবং (ii) হইতে,  ${}_1\mu_2$

এবং  ${}_2\mu_1$ -এর মান বসাইয়া (iii) হইতে পাই,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \phi}{\sin r}$$

$$\text{বা, } \sin i = \sin \phi$$

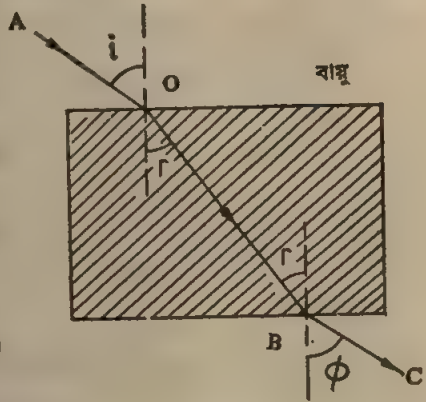
$$\dots (iv)$$

এখন,  $i$  এবং  $\phi$ -এর মান অবশ্যই  $90^\circ$  অপেক্ষা কম হইবে। কাজেই, (iv) নং

সমীকরণের একমাত্র গ্রহণযোগ্য সমাধান হইল  $i = \phi$

অর্থাৎ, আপতন কোণ = নিষ্কমণ কোণ

অর্থাৎ, কোন আলোক-রশ্মি একটি সমান্তরাল ফলকে আপতিত হইলে ঐ ফলকে দুই পৃষ্ঠে প্রতিসরণের পর রশ্মিটি আপতিত রশ্মিটির সমান্তরালভাবে নিষ্কাশিত হয়। পরীক্ষার দ্বারাও এ সিদ্ধান্ত সমর্থিত হয়।



চিহ্ন 4.5

#### 4.7 স্নেলের সাধারণ সূত্র (Generalised Snell's law)

মনে করি, চারিটি আলোক-মাধ্যমে  $a, b, c$ , এবং  $d$  তিনটি সমান্তরাল বিভেদতল দ্বারা বিচ্ছিন্ন। একটি আলোক-রশ্মি PQIRST তিনটি বিভেদতলে যথাক্রমে Q, R

এবং S বিন্দুতে প্রতিসৃত হইয়াছে। 4.6 নং চিত্র হইতে লিখিতে পারি যে,

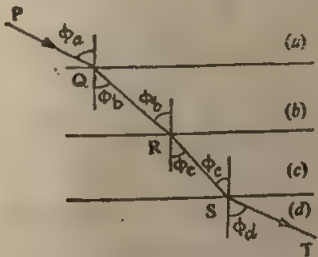
$$\frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_b} = {}_a\mu_b \quad \dots (i)$$

$$\text{অনুরূপভাবে, } \frac{\sin \phi_b}{\sin \phi_c} = {}_b\mu_c \quad \dots (ii)$$

$$\text{এবং } \frac{\sin \phi_c}{\sin \phi_d} = {}_c\mu_d \quad \dots (iii)$$

$a$  এবং  $d$ -মাধ্যম দুইটি অভিন্ন হইলে আপতিত

রশ্মি PQ এবং নিষ্কাশিত রশ্মি ST পরস্পর সমান্তরাল হইবে। অর্থাৎ, প্রথম ও শেষ মাধ্যম অভিন্ন হইলে,  $\phi_a = \phi_d$  হইবে। ইহা একটি পরীক্ষার সত্য।



চিহ্ন 4.6

$$\therefore a\mu_b \times b\mu_o \times o\mu_d = \frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_b} \cdot \frac{\sin \phi_b}{\sin \phi_o} \cdot \frac{\sin \phi_o}{\sin \phi_d} \dots \quad (iv)$$

$\phi_a = \phi_b$  বলিয়া সমীকরণ (iv) হইতে লেখা যায়,  $a\mu_b \times b\mu_o \times o\mu_d = 1$   
 $a$  এবং  $d$  মাধ্যম যদি শূন্যস্থান (vacuum) হয় তবে লেখা যায়,

$$v_{ao}\mu_b \times b\mu_o \times o\mu_{vo} = 1$$

$$\text{এখন, } b\mu_o = \frac{1}{v_{ao}\mu_b \times o\mu_{vo}} = \frac{v_{ao}\mu_o}{v_{ao}\mu_b} = \frac{\mu_o}{\mu_b}$$

এখানে  $\mu_b$  এবং  $\mu_o$  যথাক্রমে  $b$ -এর  $c$ -মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক। স্নেলের সূত্র হইতে পাই,

$$\frac{\sin \phi_b}{\sin \phi_o} = b\mu_o = \frac{\mu_o}{\mu_b}$$

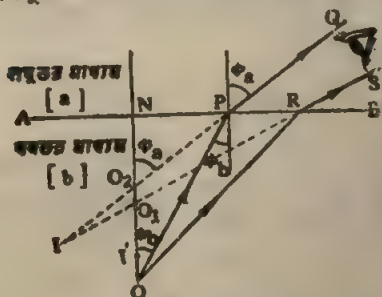
$$\therefore \mu_b \sin \phi_b = \mu_o \sin \phi_o \quad \dots \quad (4.5)$$

এই সমীকরণকে স্নেলের সাধারণ সূত্র বলা হয়।

#### 4.8 প্রতিসরণের ফলে বস্তুর আপাত-উন্নতি

মনে করি [a] এবং [b] দুইটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব আলোক-মাধ্যম এবং AB ইহাদের বিভেদতল [চিত্র 4.7]। ইহাদের পরম প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে  $\mu_a$  এবং  $\mu_b$ ।  $a$ -মাধ্যম অপেক্ষা  $b$ -মাধ্যম ঘনতর হইলে লিখিতে পারি,  $\mu_a < \mu_b$ । এইরূপ ক্ষেত্রে দেখান যান যে,  $a$ -মাধ্যম হইতে কোন দর্শক  $b$  মাধ্যমে অবস্থিত কোন বস্তুর দিকে তাকাইলে তাহার চোখে বস্তুটির আপাত দূরত্ব উহার প্রকৃত দূরত্ব অপেক্ষা কম হইবে।

ধরি,  $b$ -মাধ্যমে অবস্থিত কোন বস্তু O হইতে কোন রশ্মি AB বিভেদতলের P-বিন্দুতে  $\phi_b$  কোণে আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর PQ-পথে অগ্রসর হইয়া দর্শকের চোখে প্রবেশ করিয়াছে।  $\mu_a < \mu_b$  বলিয়া আপতন কোণ  $\phi_b$  অপেক্ষা প্রতিসরণ কোণ  $\phi_a$ -এর মান বেশি হইবে। অনুরূপভাবে, OR-রশ্মি বিভেদতলে প্রতিসৃত হইয়া RS-পথে অগ্রসর হয় এবং দর্শকের চোখে প্রবেশ করে। বাঁধিত OP এবং SR রেখা পরস্পরকে I বিন্দুতে ছেদ করে। দর্শক I-বিন্দুতে বস্তুটির প্রতিবিম্ব দেখিবে। O-বিন্দু হইতে বিভেদতলে



চিত্র 4.7

AB-এর উপর ON লম্ব টানি। বাঁধিত QP-রেখা ON-রেখাকে  $O_2$  বিন্দুতে এবং বাঁধিত SR-রেখা ON-রেখাকে  $O_1$ -বিন্দুতে ছেদ করিল।

এখন,  $\phi_b$ -কোণ যত ছোট হইবে, অর্থাৎ P-বিন্দুটি যত N-বিন্দুর নিকটবর্তী হইবে  $O_1$ ,  $O_2$  এবং I একে অন্যের তত কাছাকাছি আসিবে। যখন দর্শক বিভেদতলের লম্বভাবে (অর্থাৎ, NO-রেখা বরাবর) O-বিন্দুর দিকে তাকাইবে তখন  $O_1$ ,  $O_2$  এবং I—উহারা একই বিন্দুতে মিলিত হইবে। অর্থাৎ, ঐ বিন্দু I-ই হইবে দর্শকের চোখে বস্তুটির প্রতিবিম্বের অবস্থান।

মেলের সূত্রানুসারে,  $\frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_b} = \frac{\mu_b}{\mu_a}$  ... (i)

4.7 নং চিত্রানুসারে,  $\angle NOP = \phi_b$  এবং  $\angle NO_2P = \phi_a$

$\therefore \sin \phi_a = \frac{NP}{PO_2}$  এবং  $\phi_b = \frac{NP}{PO}$

$\therefore \frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_b} = \frac{NP}{PO_2} \cdot \frac{PO}{NP} = \frac{PO}{PO_2}$  ... (ii)

কিন্তু যখন  $\phi_b \rightarrow 0$  তখন  $O_2$ -বিন্দুটি  $I'$ -বিন্দুর উপর এবং  $P$ -বিন্দুটি  $N$ -বিন্দুর উপর সমাপতিত হইবে।

$\therefore \lim_{\phi_b \rightarrow 0} \frac{\sin \phi_a}{\sin \phi_b} = \frac{\mu_b}{\mu_a} = \lim_{\phi_b \rightarrow 0} \frac{PO}{PO_2} = \frac{NO}{NI'}$  ... (iii)

$NI'$  = দর্শকের চোখে বস্তুর আপাত গভীরতা

$NO$  = বস্তুর প্রকৃত গভীরতা

সুতরাং, (iii) হইতে লেখা যায়

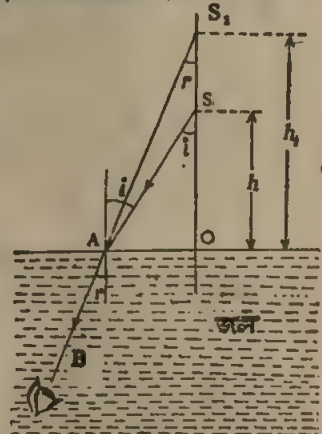
$\frac{\text{প্রকৃত গভীরতা}}{\text{আপাত গভীরতা}} = \frac{\mu_a}{\mu_b} = {}_a\mu_b$	... (4.6)
---	-----------

এক্ষেত্রে,  $\mu_a > \mu_b$  বলিয়া বস্তুর প্রকৃত গভীরতা অপেক্ষা উহার আপাত গভীরতা কম হইবে; অর্থাৎ, দর্শকের চোখে বস্তুর অবস্থানের উন্নতি ঘটিবে।

অনুরূপভাবে প্রমাণ করা যায় যে, ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে অবস্থিত কোন বস্তুর দিকে তাকাইলে দর্শকের চোখে বস্তুর আপাত দূরত্ব উহার প্রকৃত দূরত্ব অপেক্ষা বেশি হইবে। নিম্নে ইহা দেখান হইল।

মনে করি, জলের নিচ হইতে কোন দর্শক (কোন সঁতারু কিংবা কোন ডুবুরী) জলপৃষ্ঠের উপরে বায়ুতে বিদ্যমান কোন বস্তুকে দেখিতেছে। এক্ষেত্রে জলের নিচের দর্শকের চোখে বস্তুটির আপাত উচ্চতা উহার প্রকৃত উচ্চতা হইতে ভিন্ন হইবে।

ধরি,  $S$  বস্তুটি জলপৃষ্ঠ হইতে  $h$  উচ্চতায় আছে।  $S$ -হইতে নির্গত একটি আলোক-রশ্মি জলপৃষ্ঠের  $A$  বিন্দুতে  $i$  কোণে আপতিত হইয়াছে এবং প্রতিসৃত হইয়া জলের মধ্য দিয়া  $AB$  পথে গিয়া জলের নিচে বিদ্যমান দর্শকের চোখে প্রবেশ করিয়াছে (চিত্র 4.8)।



চিত্র 4.8

বাঁখত  $BA$  রেখা  $OS$  রেখাকে  $S_1$  বিন্দুতে ছেদ করে।

$\triangle OAS$  হইতে পাই,

$OA = OS \tan i = h \tan i$  ... (i)





আলোক-রশ্মি প্রতিসরণের পর দর্শকের চোখে পৌঁছায় উহাদের ক্ষেত্রে আপতন কোণ আরও বেশি বলিয়া দর্শকের চোখে R বিন্দুর প্রতিবিক্ষের অবস্থান  $O'$  অপেক্ষা বেশি উচ্চত দেখিবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, দর্শকের চোখ হইতে জলাশয়ের তলদেশের যে-বিন্দুর দূরত্ব যত বেশি সেই বিন্দুর আপাত-অবস্থান তত উপরে বলিয়া মনে হয়। অর্থাৎ জলাশয়ের তলদেশকে দূরের দিকে বাঁকাভাবে উপরে উঠিয়া যাইতে দেখা যায়।

### সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণসহ

**উদাহরণ 4.1** জলে বিদ্যমান একটি আলোক-রশ্মি জল এবং বায়ুর সমতল বিভেদতলে  $30^\circ$  কোণে আপতিত হইল। বায়ুতে প্রতিসরণ কোণ কত হইবে নির্ণয় কর। (জলের প্রতিসরাঙ্ক =  $\frac{4}{3}$ )

**সমাধান :** মনে কর, বায়ুতে আলোক-রশ্মির প্রতিসরণ কোণ =  $r$

$\therefore$  স্নেলের সূত্রানুসারে,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{জলের সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক}$$

$$= \frac{1}{\text{বায়ুর সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক}}$$

$$= \frac{1}{\frac{4}{3}} = \frac{3}{4}$$

এখানে,  $i = 30^\circ$  বলিয়া লেখা যায়,

$$\sin r = \frac{4 \sin 30^\circ}{3} = \frac{4 \times 0.5}{3} = \frac{2}{3}$$

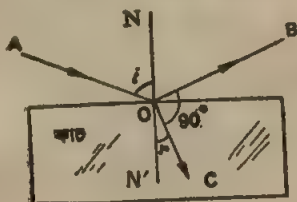
সুতরাং, বায়ুতে আলোর প্রতিসরাঙ্ক,  $r = \sin^{-1} \left( \frac{2}{3} \right) = 41.8^\circ$

**উদাহরণ 4.2** 1.62 প্রতিসরাঙ্কের একটি কাচের পাতের প্লেটের উপর একটি আলোক-রশ্মি আপতিত হইল। প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত রশ্মিগুলির পরস্পরের লম্ব। রশ্মির আপতন কোণ কত? ( $\tan 58.28^\circ = 1.62$ )

[উচ্চ মাধ্যমিক (বিপদ্রো), 1982]

**সমাধান :** শর্তানুসারে, আপতিত রশ্মি OB এবং প্রতিসৃত রশ্মি OC পরস্পর লম্ব (চিত্র 4.11)।

অর্থাৎ,  $\angle BOC = 90^\circ$



চিত্র 4.11

এখন,  $\angle NOB + \angle BOC + \angle CON' = 180^\circ$

$$\text{বা, } i + 90^\circ + r = 180^\circ$$

$$\text{বা, } i + r = 90^\circ \quad (i)$$

এখানে, কাচের প্রতিসরাঙ্ক,  $\mu = \frac{\sin i}{\sin r}$

$$= \frac{\sin i}{\sin (90^\circ - i)}$$

[সমীকরণ (i) হইতে]

$$\text{বা, } \mu = \tan i \quad \text{বা, } i = \tan^{-1} \mu$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $\mu = 1.62$  বলিয়া লেখা যায়,  $i = \tan^{-1} 1.62 = 58.24^\circ$

**উদাহরণ 4.3** যদি শূন্যস্থানে আলোর বেগ  $3 \times 10^{10}$  cm/sec হয় এবং যদি বায়ুর পরম প্রতিসরাঙ্ক 1.00029 হয় তাহা হইলে বায়ুতে আলোর বেগ কত হইবে?

**সমাধান :** বায়ুর পরম প্রতিসরাঙ্ক  $(\mu) = \frac{\text{শূন্যস্থানে আলোর বেগ (c)}}{\text{বায়ুতে আলোর বেগ (v)}}$

এখানে,  $\mu = 1$  এবং শূন্যস্থানে আলোর বেগ,  $c = 3 \times 10^{10}$  cm/sec

$$\therefore \text{বায়ুতে আলোর বেগ (v)} = \frac{c}{\mu}$$

$$= \frac{3 \times 10^{10} \text{ cm}}{1.00029} = 2.99913 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$$

**উদাহরণ 4.4** কোন দর্শক নিচের দিকে দৃষ্টিপাত করিলে কোন হ্রদের তলদেশে বিদ্যমান একটি বস্তুকে  $1\frac{1}{3}$  ft উঁচুত অবস্থায় দেখে। বস্তুটি যে-অবস্থানে আছে সেই অবস্থানে হ্রদের গভীরতা কত? জলের প্রতিসরাঙ্ক  $= 4/3$ । [ সংসদের নবদুনা প্রশ্ন, 1980 ]

**সমাধান :** মনে করি, বস্তুটি যে-অবস্থানে আছে সেই অবস্থানে হ্রদের

$$\text{গভীরতা} = x \text{ ft} \quad \dots (i)$$

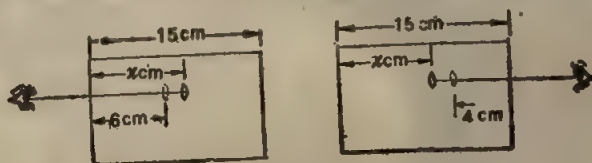
$$\text{প্রশ্নের শর্তানুসারে, বস্তুর আপাত গভীরতা} = (x - \frac{x}{4}) \text{ ft} \quad \dots (ii)$$

$$\text{এখন, জলের প্রতিসরাঙ্ক} = \frac{\text{বস্তুর প্রকৃত গভীরতা}}{\text{বস্তুর আপাত গভীরতা}}$$

$$\text{বা, } \frac{4}{3} = \frac{x}{(x - \frac{x}{4})} \quad \text{বা, } 4x - 6 = 3x \quad \text{বা, } x = 6 \text{ ft}$$

**উদাহরণ 4.5** 15 cm বাহুবিশিষ্ট একটি স্ফটিক ঘনকের মধ্যে একটি বুদ্ধবুদ আছে। ঘনকের একপার্শ্ব হইতে উহার আপাত গভীরতা 6 cm এবং অপর পার্শ্ব হইতে উহার আপাত গভীরতা 4 cm। প্রথম পৃষ্ঠ হইতে বুদ্ধবুদের দূরত্ব এবং ঘনকটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [ কেন্দ্রীয় স্কুল সার্টিফিকেট ]

**সমাধান :** মনে করি, প্রথম পৃষ্ঠ হইতে বুদ্ধবুদের প্রকৃত দূরত্ব  $= x$  cm (চিত্র 4.12)।



চিত্র 4.12

সুতরাং, দ্বিতীয় পৃষ্ঠ হইতে বুদ্ধবুদের প্রকৃত-দূরত্ব  $= (15 - x)$  cm

ঘনকের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক  $\mu$  হইলে

$$\text{প্রশ্নের শর্তানুসারে, } \frac{x}{6} = \mu \quad \dots (i)$$

$$\text{এবং, } \frac{15 - x}{4} = \mu \quad \dots (ii)$$

$$\therefore \frac{15 - x}{4} = \frac{x}{6} \quad [ (i) \text{ ও } (ii) \text{ হইতে} ] \quad \dots (iii)$$

বা,  $x = 9 \text{ cm}$

$\therefore$  সমীকরণ (i) হইতে  $\mu = \frac{x}{6} = \frac{9}{6} = 1.5$

**উদাহরণ 4.6** জলের নিচ হইতে এক সঁতারু তাহার মাথার উপরে জলপৃষ্ঠ হইতে 1.5 m উচ্চতার অবস্থিত কোন বস্তু দেখে। জলপৃষ্ঠ হইতে বস্তুর আপাত উচ্চতা নির্ণয় কর। জলের প্রতিসরাঙ্ক  $= \frac{4}{3}$ ।

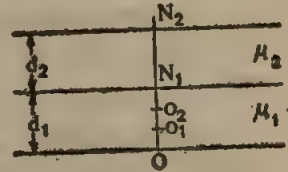
**সমাধান :**  $\frac{\text{বস্তুর আপাত উচ্চতা}}{\text{বস্তুর প্রকৃত উচ্চতা}} = \text{জলের প্রতিসরাঙ্ক} = \frac{4}{3}$

কাজেই, বস্তুর আপাত উচ্চতা  $= \frac{4}{3} \times \text{বস্তুর প্রকৃত উচ্চতা} = \frac{4}{3} \times 1.5 \text{ m} = 2 \text{ m}$

অর্থাৎ, জলের নিচের সঁতারুর চোখে বস্তু বস্তুর আপাত উচ্চতা 2 m হইবে।

**উদাহরণ 4.7** একটি পাত্রে  $\mu_1$  এবং  $\mu_2$  প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট পরস্পরের সহিত অমিশ্র দুইটি তরলের দুইটি স্তর রহিয়াছে। প্রথম তরল স্তরের উচ্চতা  $d_1$  এবং দ্বিতীয় তরল স্তরের উচ্চতা  $d_2$  হইলে উপর হইতে লম্বভাবে পাত্রের তলার দিকে তাকাইলে পাত্রটির আপাত গভীরতা কত হইবে?

**সমাধান :** মনে করি, O-বিন্দুটি পাত্রের তলদেশের কোন একটি বিন্দু (চিত্র 4.13)। O-বিন্দু হইতে তরলস্তরের বিভেদতলের উপর  $ON_1N_2$  লম্ব টানা হইল। ইহা প্রথম ও দ্বিতীয় মাধ্যমের বিভেদতলকে  $N_1$  বিন্দুতে এবং দ্বিতীয় মাধ্যম ও বায়ুর বিভেদতলকে  $N_2$  বিন্দুতে এবং দ্বিতীয় মাধ্যম ও বায়ুর বিভেদতলকে  $N_2$  বিন্দুতে ছেদ করিল। প্রথমে O-বিন্দু হইতে আগত আলো প্রথম ও দ্বিতীয় মাধ্যমের বিভেদতলে প্রতিসৃত হইবে। ধরি, এই প্রতিসরণের পর বস্তুর আপাত অবস্থান  $O_1$ । এক্ষেত্রে আমরা ধরিয়া লইয়াছি যে, দর্শক বিভেদতলের লম্বভাবে O-বিন্দুর দিকে তাকাইয়াছে। 4.8 নং অনুচ্ছেদ হইতে লেখা যায়,



চিত্র 4.13

$\frac{\text{প্রকৃত গভীরতা } ON_1}{\text{আপাত গভীরতা } O_1N_1} = \mu_1 = \frac{\mu_1}{\mu_2}$

$\therefore O_1N_1 = \frac{\mu_2}{\mu_1} \times ON_1 = \frac{\mu_2}{\mu_1} \times d_1$

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় মাধ্যম ও বায়ুর বিভেদতলের প্রতিসরণের পর  $O_1$ -বিন্দুর আপাত-অবস্থান  $O_2$  হইলে লেখা যায়,

$\frac{O_1N_2}{O_2N_2} = \mu_2$

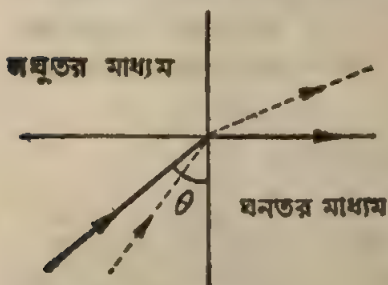
$\therefore O_2N_2 = \frac{O_1N_2}{\mu_2} = \frac{O_1N_1 + N_1N_2}{\mu_2} = \frac{\frac{\mu_2}{\mu_1} \times d_1 + d_2}{\mu_2} = \frac{d_1}{\mu_1} + \frac{d_2}{\mu_2}$

#### 4.9 আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন (Total Internal Reflection)

আগেই উল্লেখ করা হইয়াছে যে, ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে আলোক-রশ্মি যদি তির্যকভাবে আপতিত হয়, তবে প্রতিসরণের পর উহা অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া



যায়, অর্থাৎ এইরূপ ক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বড় হয়। আগতন কোণের মান বাড়াইলে প্রতিসরণ কোণের মানও বাড়িতে থাকে। এইরূপভাবে,



চিত্র 4.14

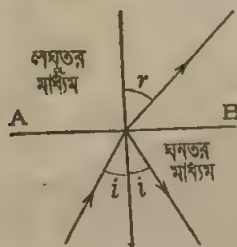
আপতন কোণের এই মানকে সঙ্কট কোণ (critical angle) বলে। 4.14 নং চিত্রে ইহাকে  $\theta$  দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে। আপতন কোণের মান সঙ্কট কোণ অতিক্রম করিলে আলো প্রতিসৃত হইয়া আর দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করিতে পারে না, আপতিত আলোক-রশ্মি সম্পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। এই ঘটনাকে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন বলা হয়।

আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য নিম্নের শর্ত দুইটি পালিত হওয়া প্রয়োজন।

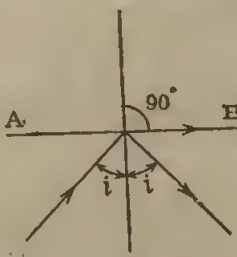
(i) আলোক-রশ্মিকে ঘনতর মাধ্যম হইতে আসিয়া লঘুতর মাধ্যমের বিভেদতলে আপতিত হইতে হইবে এবং (ii) আপতন কোণকে সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বড় হইতে হইবে।

মনে করি, একটি আলোক-রশ্মি ঘনতর মাধ্যম হইতে আসিয়া অপর একটি লঘুতর মাধ্যমের বিভেদতল AB-তে আপতিত হইল। আপতন কোণের মানের উপর নির্ভর করিয়া এক্ষেত্রে তিনটি পরিস্থিতির উদ্ভব হইতে পারে।

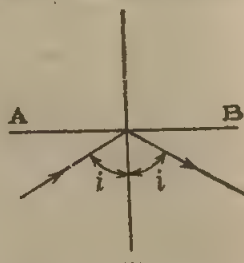
(i) আপতন কোণ  $i$  সঙ্কট কোণ  $\theta_c$  অপেক্ষা কম হইলে উহার এক অংশ প্রতিফলিত হইয়া প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে এবং আর এক অংশ প্রতিসৃত হইয়া দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করে [চিত্র 4.15 (a)]। (ii) আপতন কোণ  $i$  সঙ্কট কোণ  $\theta_c$ -এর



চিত্র 4.15 (a)



চিত্র 4.15 (b)



চিত্র 4.15 (c)

সমান হইলে উহার এক অংশ প্রতিফলিত হইয়া প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে, অপর অংশ প্রতিসরণের পর দুই মাধ্যমের বিভেদতল ঘেঁষিয়া অগ্রসর হয়। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ  $90^\circ$  [চিত্র 4.15 (b)]। (iii) আপতন কোণ  $i$  সঙ্কট কোণ  $\theta_c$

অপেক্ষা বড় হইলে আপতিত আলোর কোন অংশই প্রতিসৃত হয় না, উহা সম্পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে [চিত্র 4.15 c)]।

উপরের আলোচনা হইতে স্পষ্ট কোণের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায় :

কোন আলোক-রশ্মি যখন কোন ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন দুই মাধ্যমের বিভেদতলে যে-আপতন কোণের দরুন প্রতিসৃত রশ্মিটি এই বিভেদতল ঘেঁষিয়া অগ্রসর হয় (অর্থাৎ, যে-আপতন কোণের ক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ  $90^\circ$ ) সেই কোণকে উক্ত দুই মাধ্যমের স্পষ্ট কোণ বলা হয়।

● স্পষ্ট কোণের মান নির্ণয় স্পষ্ট কোণের সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি যে, আপতন কোণ  $\theta_0$  হইলে প্রতিসরণ কোণের মান  $90^\circ$  হইবে। কাজেই লেখা যায়,

$$\frac{\sin \theta_0}{\sin 90^\circ} = \mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad \dots (i)$$

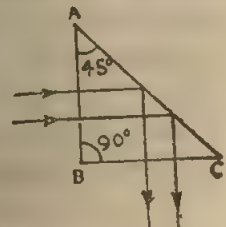
$$\text{বা, } \sin \theta_0 = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\text{লঘুতর মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক}}{\text{ঘনতর মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক}} \quad \dots (4.9)$$

যদি লঘুতর মাধ্যমটি শূন্যস্থান কিংবা বায়ু হয় তাহা হইলে  $\mu_2 = 1$  হইবে। ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কে  $\mu$  (অর্থাৎ,  $\mu_1 = \mu$ ) ধরিয়া 4.9 নং সমীকরণ হইতে পাই,

$$\sin \theta_0 = \frac{1}{\mu} \quad \dots (4.10)$$

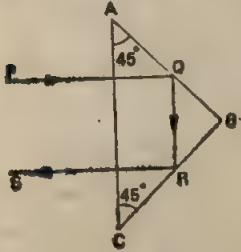
#### 4.10 পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম (Total reflection prism)

কোন কোন প্রিজম পূর্ণ প্রতিফলন কাজে লাগাইয়া দর্পণের ন্যায় ক্রিয়া করিতে পারে। এইরূপ প্রিজমকে পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম বলা হয়। 4.15 নং চিত্রে এইরূপ একটি প্রিজমের কার্যনীতি বুঝান হইয়াছে। ABC একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ। ইহা একটি সমাধিবাহু সমকোণী ত্রিভুজ। ইহার  $\angle A$  এবং  $\angle C$  কোণের মান  $45^\circ$  এবং  $\angle B$ -কোণের মান  $90^\circ$ । কাচের প্রতিসরাঙ্ক প্রায় 1.5 এবং কাচ ও বায়ুতে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে স্পষ্ট কোণ প্রায়  $42^\circ$ । কাজেই, কাচের মধ্য দিয়া অগ্রসর হইয়া কোন আলোক-রশ্মি কাচ এবং বায়ুর বিভেদতলে  $45^\circ$  কোণে আপতিত হইলে রশ্মিটি পূর্ণ প্রতিফলিত হয়। ABC প্রিজমের AB পৃষ্ঠে লম্বভাবে একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক-রশ্মি আপতিত হইলে উহা সোজাসুজি অগ্রসর হইয়া AC পৃষ্ঠে  $45^\circ$  কোণে আপতিত হয় এবং এই পৃষ্ঠ হইতে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া BC পৃষ্ঠের দিকে অগ্রসর হয়। AC পৃষ্ঠ হইতে প্রতিফলিত এই রশ্মিগুচ্ছ BC পৃষ্ঠে লম্বভাবে আপতিত হয় বলিয়া উহা দিক-পরিবর্তন না করিয়া BC পৃষ্ঠ হইতে বাহির হইয়া যায়। কাজেই, রশ্মিগুচ্ছের কৌণিক বিচ্যুতির মান  $90^\circ$ । পেরিস্কোপ যন্ত্রে দর্পণের পরিবর্তে এইরূপ প্রিজম ব্যবহার করা সুবিধাজনক। অন্যান্য কাজেও পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম ব্যবহৃত হয়। অবশীর্ষ (inverted) প্রতিবিম্বকে উল্টাইয়া সমাধীর্ষ (erect) করিবার জন্যও পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম ব্যবহার করা হয়। এ প্রসঙ্গে 8.8 নং অনুচ্ছেদে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।



চিত্র 4.16

প্রিজমের সাহায্যে একটি আলোক-রশ্মিকে  $180^\circ$  কোণে বিচ্যুত করা যায়। 4.17 নং চিত্রে ইহা দেখান হইয়াছে। এক্ষেত্রেও ABC প্রিজমের A এবং C কোণদ্বয়  $45^\circ$  এবং B কোণটি  $90^\circ$ । PQ আলোক-রশ্মি AC তলের উপর লম্বভাবে পড়িয়া প্রতিসরণের পর সোজাসুজি গিয়া AB তলের Q বিন্দুতে  $45^\circ$  কোণে আপতিত হয়



চিত্র 4.17

এবং সেখান হইতে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া  $90^\circ$  বিচ্যুত হয়। ইহার পর ঐ আলোক-রশ্মি C তলের R বিন্দুতে আসিয়া  $45^\circ$  কোণে আপতিত হয় এবং সেখান হইতে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া পুনরায়  $90^\circ$  বিচ্যুত হয়। এই দুই পূর্ণ প্রতিফলনের ফলে PQ আলোক-রশ্মির মোট  $180^\circ$  বিচ্যুতি ঘটে। অর্থাৎ, ABC প্রিজমের দুই তলে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া PQ আলোক-রশ্মিটি উহার পূর্ববর্তী গতিপথের ঠিক বিপরীতমুখী হইয়া চলিতে থাকে।

**দর্পণ অপেক্ষা পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমের সুবিধা:**

(i) দর্পণের প্রতিফলক পৃষ্ঠে সর্বদাই কিছু পরিমাণ আলো শোষিত হয়। কাজেই, প্রতিবিম্বের ঔজ্জ্বল্য কমিয়া যায়। পূর্ণ প্রতিফলনের সময় অনুরূপ কোন শোষণ ঘটে না বলিয়া দর্পণ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব অপেক্ষা পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের ঔজ্জ্বল্য বেশি হয়।

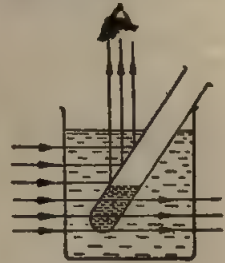
(ii) দর্পণ পুর হইলে পুনঃ পুনঃ প্রতিফলনের ফলে একাধিক প্রতিবিম্ব গঠিত হইতে পারে, ইহাতে প্রতিবিম্ব অস্পষ্ট হয়। পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমে সেই সম্ভাবনা নাই।

(iii) দর্পণের ধাতব প্রলেপ নষ্ট হইয়া গেলে উহার প্রতিফলন-ক্ষমতা কমিয়া যায়। পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমের প্রতিফলন-ক্ষমতা কমিবার আশঙ্কা থাকে না।

উপরি-উক্ত সুবিধার জন্য বাইনকুলার, পেরিস্কোপ ইত্যাদি যন্ত্রে পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম ব্যবহৃত হয়। তবে, দর্পণ অপেক্ষা পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমের দাম বেশি।

#### 4.11 পূর্ণ প্রতিফলন-সংক্রান্ত কয়েকটি ঘটনা

(i) একটি টেস্টিউব বা পরখ-নলের কিছু অংশে জল ভরিয়া উহাকে একটি জলপূর্ণ বাকারে এমনভাবে কাত করিয়া রাখা হইল যাহাতে উহার পার্শ্ব হইতে আগত আলোক-রশ্মি যথেষ্ট তির্যক্ভাবে আপতিত হইতে পারে। উপর হইতে পরখ-নলের দিকে তাকাইলে (চিত্র 4.18) দেখা যাইবে যে, উহার জলশূন্য অংশ রূপার ন্যায় চক্চক্ করিতেছে, কিন্তু জলপূর্ণ অংশটি এরূপ প্রতীয়মান হইতেছে না। পরখ-নলের উপরের অংশে আলোক-রশ্মি জল হইতে কাচের মধ্য দিয়া কাচ ও বায়ুর বিভেদতলে সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বড় কোণে আপতিত হওয়ায় পূর্ণ প্রতিফলিত হইতেছে। ফলে ঐ অংশ হইতে আপতিত আলোর সবটুকুই চোখে আসিয়া প্রবেশ করিতেছে। পরখ-নলের নিচের অংশে আলো জল হইতে কাচের মধ্য দিয়া পুনরায় জলেই প্রতিসৃত হইতেছে। এক্ষেত্রে কাচ ও জলের বিভেদতলে আলোক-রশ্মির আপতন কোণ সঙ্কট কোণ অতিক্রম করিতে পারে না বলিয়া পরখ-নলের এই অংশ উপরের অংশের ন্যায় উজ্জ্বল দেখান না। পরখ-নলটিকে

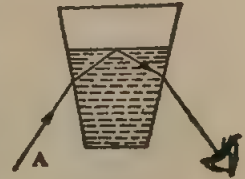


চিত্র 4.18

তির্থগ্ভাবে না রাখিয়া খাড়াভাবে রাখিলে ঐ উজ্জ্বল ভাব আর দেখা যাইবে না, কেননা তখন আপতন কোণ সঙ্কট কোণ অপেক্ষা ছোট হইবে, ফলে পূর্ণ প্রতিফলন হইবে না।

(ii) একটি ভূসাকালি-মাখা খাতব বলকে জলে ডুবাইলে উহাকে বৃষ্টির মত উজ্জ্বল দেখায়। আলোর পূর্ণ প্রতিফলনই ইহার কারণ। ভূসাকালি-মাখা বল জলে নিমজ্জিত করিলে বায়ুর একটি পাতলা স্তর জলকে বল হইতে পৃথক করিয়া রাখে। জল হইতে বায়ুতে প্রতিসরণের সময় যে-সকল রশ্মির আপতন কোণ সঙ্কট কোণ (প্রায়  $49^\circ$ ) অপেক্ষা বেশি হইবে, উহারা পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌঁছবে, ফলে ভূসাকালি মাখা বলটিকে উজ্জ্বল মনে হইবে।

(iii) জলপূর্ণ একটি কাচের গ্লাসকে আস্তে আস্তে উপরে তুলিয়া নিচে চোখ রাখিয়া একপাশ হইতে জলের তলের দিকে তাকাইলে উহাকে চকচকে মনে হয়। গ্লাসের পাশ দিয়া আলো আসিয়া জলের উপরের পৃষ্ঠে প্রতিফলিত হইয়া চোখে প্রবেশ করে বলিয়া এইরূপ হয় (চিত্র 4.19)।



চিত্র 4.19

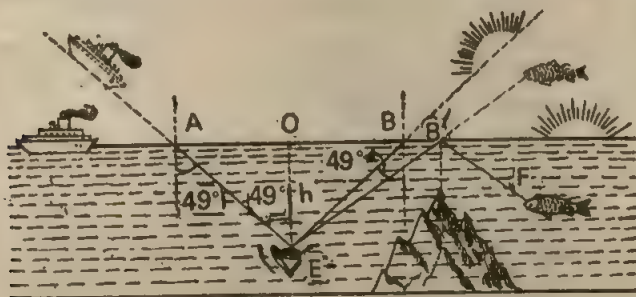
(iv) জলের মধ্য দিয়া যখন কোন গ্যাসের বুদবুদ উঠিতে থাকে তখন বুদবুদগুলিকে বেশ চক্চকে দেখায়। ইহার কারণও আলোর পূর্ণ প্রতিফলন। জল অপেক্ষা গ্যাস লঘুতর মাধ্যম। যে-সকল আলোক-রশ্মি, জলের মধ্য দিয়া অগ্রসর হইয়া গ্যাসের বুদবুদের গায়ে সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বড় কোণে আপতিত হয় উহারা আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের পর দর্শকের চোখে আসে। ফলে, বুদবুদটিকে চক্চক্ করিতে দেখা যায়। অনেক সময় কাগজ-চাপার (paper-weight) মধ্যে গ্যাসের বুদবুদ ঢুকান থাকে। কাগজ-চাপাটি ঘুরাইয়া ফিরাইয়া লক্ষ্য করিলে এক এক সময় ঐ বুদবুদগুলিকে বেশ উজ্জ্বল দেখায়। কাচ হইতে বুদবুদের বায়ুতে প্রবেশ করিবার সময় আলোক-রশ্মি পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া এই উজ্জ্বলের সৃষ্টি করে।

(v) হীরকের প্রতিসরাঙ্ক প্রায় 2.4, সুতরাং হীরক হইতে বায়ুতে প্রতিসরণের সময় সঙ্কট কোণ  $\theta_c = \sin^{-1} 1/2.4$  বা প্রায়  $24.5^\circ$ । হীরকের বিভিন্ন ধার এমনভাবে কাটা হয় যাহাতে উহার মধ্যে প্রতিফলিত আলোক-কিরণ বিভিন্ন পৃষ্ঠে বার বার পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া দুই একটি হইতে বাহির হইয়া আসে। ফলে ঐ পৃষ্ঠগুলি চক্চকে দেখায়।

(vi) বায়ুর সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক প্রায় 1.33 বলিয়া জল হইতে বায়ুতে প্রতিসরণের সময় সঙ্কট কোণের মান  $\sin^{-1}(1/1.33)$  বা প্রায়  $49^\circ$ । জলের উপরিতল ঘেঁষিয়া কোন আলোক-রশ্মি জল ও বায়ুর বিভেদতলে আপতিত হইয়া অভিলম্বের সহিত  $49^\circ$  কোণ করিয়া জলের মধ্যে প্রবেশ করে। অর্থাৎ, আলোক-রশ্মি  $90^\circ$  কোণে আপতিত হইলে  $49^\circ$  কোণে প্রতিসৃত হইয়া জলে প্রবেশ করিবে। জলপৃষ্ঠের উল্লম্ব অবস্থিত কোন বস্তু হইতে আগত আলোক-রশ্মি প্রতিসৃত হইয়া জলের নিচে বিদ্যমান দর্শকের চোখে পড়িলে উহা অভিলম্বের সহিত  $49^\circ$ -এর কম কোণ করিবে। কাজেই বলা যায়, জলের বাহিরে অবস্থিত দৃশ্যমান জগৎ জলের তলায় অবস্থিত দর্শকের চোখে  $(49^\circ \times 2)$  বা  $98^\circ$  কোণ-বিশিষ্ট একটি শঙ্কুর মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে (চিত্র 4.20)। এই শঙ্কুর বাহিরে চোখ কেবলমাত্র জলের মধ্যস্থ বস্তু দেখিবে। চিত্রে একপার্শ্বে একটি



জাহাজ ও অপর পার্শ্বে দিগন্তরেখায় উদীয়মান সূর্য দেখান হইয়াছে। চোখের নিকট উহার উভয়ের AEB শঙ্কুর মধ্যে অবস্থিত বলিয়া মনে হইবে। আমাদের চোখে উদয় হইতে অন্ত পৰ্যন্ত সূর্যের গতিপথ  $180^\circ$  কোণ উৎপন্ন করে, কিন্তু জলের নিচে অবস্থিত দর্শকের চোখে এই কোণ  $98^\circ$ ।



চিত্র 4.20

E-বিন্দু হইতে জলপৃষ্ঠের উপর EO লম্ব টানা হইল। O-বিন্দুটি AEB শঙ্কুর বৃত্তাকার ভূমির কেন্দ্রবিন্দু। সুতরাং বলা যায়, জলের নিচে E-বিন্দুতে অবস্থিত চোখের নিকট মনে হইবে যে, জলপৃষ্ঠের উপর OA বা OB ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার ছিদ্র রহিয়াছে যাহার মধ্য দিয়া জলের উপরের বস্তুজগৎ দৃষ্টিগোচর হইতেছে। বৃত্তাকার এই ছিদ্রের বাহিরের অংশ E-অবস্থানে রক্ষিত চোখের কাছে দর্পণের ন্যায় আচরণ করে। মনে করি, F-অবস্থানে একটি মাছ রহিয়াছে। ঐ মাছ হইতে আগত আলোক-রশ্মি জলপৃষ্ঠে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া চোখে আসিয়া পড়িবে, ইহার কারণ এই যে, এক্ষেত্রে আপতন কোণ সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বেশি।

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

- উদাহরণ 4.8 জল এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে  $\frac{4}{3}$  এবং  $\frac{3}{2}$ । (i) বায়ু ও জল, (ii) বায়ু ও কাচ এবং (iii) জল ও কাচের মধ্যে সঙ্কট কোণের মান নির্ণয় কর।

সমাধান : (i) বায়ু ও জলের মধ্যবর্তী সঙ্কট কোণ  $\theta_c$  হইলে লেখা যায়,

$$\sin \theta_c = \frac{1}{\mu_w} = \frac{1}{4/3} = \frac{3}{4} = 0.75$$

$$\text{বা, } \theta_c = \sin^{-1}(0.75) = 48.5^\circ \text{ (প্রায়)}$$

- (ii) বায়ু ও কাচের মধ্যবর্তী সঙ্কট কোণ  $\theta_c$  হইলে লেখা যায়,

$$\sin \theta_c = \frac{1}{\mu_g} = \frac{1}{3/2} = \frac{2}{3} = 0.67$$

$$\text{কাজেই, } \theta_c = \sin^{-1} 0.67 = 42^\circ \text{ (প্রায়)}$$

- (iii) জল এবং কাচের মধ্যবর্তী সঙ্কট কোণ  $\theta_c$  হইলে লেখা যায়,

$$\sin \theta_c = \frac{\mu_w}{\mu_g} = \frac{4/3}{3/2} = \frac{8}{9} = 0.89$$

$$\text{কাজেই, } \theta_c = \sin^{-1} 0.89 = 63^\circ \text{ (প্রায়)}$$

**উদাহরণ 4.9** বায়ুর সাপেক্ষে এক খণ্ড কাচের সঙ্কট কোণ  $30^\circ$ ।  $\sqrt{2}$  প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট কোন মাধ্যমে নির্মজ্জিত অবস্থায় উহার সঙ্কট কোণ কত হইবে ?  
[ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাডমিশন টেস্ট, 1963]

**সমাধান :** বায়ুর সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক  $a\mu_g$  হইলে প্রশ্নের শর্তানুসারে লেখা যায়,

$$a\mu_g = \frac{1}{\sin 30^\circ} = \frac{1}{(1/2)} = 2$$

$\sqrt{2}$  প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট মাধ্যমের সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক

$$m\mu_g = m\mu_a \times a\mu_g = \frac{a\mu_g}{a\mu_m}$$

$$\text{বা, } m\mu_g = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$$

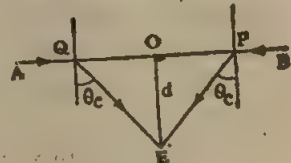
কাজেই, উক্ত মাধ্যমে নির্মজ্জিত অবস্থায় কাচের সঙ্কট কোণ

$$\theta_c = \sin^{-1} \left( \frac{1}{m\mu_g} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = 45^\circ$$

**উদাহরণ 4.10** দেখাও যে,  $\mu$  প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট কোন তরলের  $d$ -গভীরতায় অবস্থিত একটি চোখের নিকট তরলের তলটি একটি বৃত্তাকার ছিদ্রযুক্ত দর্পণের ন্যায় মনে হইবে এবং এই ছিদ্রের ব্যাসার্ধ  $d/\sqrt{\mu^2 - 1}$ ।

**সমাধান :** মনে করি, AB রেখা বায়ু ও তরলের বিভেদতল এবং E বিন্দু চোখের অবস্থান নির্দেশ করিতেছে।

4.21 নং চিত্রানুসারে, E হইতে AB বিভেদতলের P-বিন্দু পর্যন্ত অঙ্কিত সরলরেখা বিভেদতলের অভিলম্বের সহিত সঙ্কট কোণ  $\theta_c$ -এর সমান কোণ করিয়াছে। E-বিন্দু হইতে বিভেদতলের উপর EO লম্ব টানা হইল। প্রশ্নের শর্তানুসারে, OP-রেখার দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিতে হইবে।



$$OP = \frac{OP}{OE} \cdot OE \quad \dots (i)$$

চিত্র 4.21

$$= d \tan \theta_c = d \cdot \frac{\sin \theta_c}{\cos \theta_c} = d \cdot \frac{\sin \theta_c}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta_c}}$$

$$\sin \theta_c = \frac{1}{\mu} \text{ বলিয়া, } OP = d \cdot \frac{1/\mu}{\sqrt{1 - (1/\mu)^2}} = \frac{d}{\sqrt{\mu^2 - 1}}$$

#### 4.12 মরীচিকা

মরীচিকা এক ধরনের দৃষ্টিভ্রম। মরুভূমিতে তৃষ্ণার্ত পথিক মাঝে মাঝে সম্মুখের বস্তুর প্রকল্পিত প্রতিবিম্ব দেখিয়া মনে করে সেখানে বুঝি জলাশয় আছে, কিন্তু সম্মুখে যাইয়া দেখে যে, উহা তাহার দৃষ্টির বিভ্রমমাত্র। এইরূপ দৃষ্টিভ্রমকে নিম্ন মরীচিকা (inferior mirage) বলা হয়। মেরু অঞ্চলে প্রচণ্ড ঠাণ্ডার মাঝে মাঝে জাহাজ বা নৌকার অবশীর্ষ প্রতিচ্ছবি আকাশে ভাসমান দেখা যায়। এইরূপ বিভ্রমকে উর্ধ্ব মরীচিকা (superior mirage) বলে। উভয় প্রকার মরীচিকাই আলোর আভ্যন্তরীণ পদার্থ প্রতিফলনের দ্বারা গঠিত হয়।

(a) নিম্ন মরীচিকা : সাধারণ নিম্নে ভূপৃষ্ঠ হইতে যত উর্ধ্বে যাওয়া যায় বায়ুস্তর ক্রমশ তত হালকা হইতে থাকে। কিন্তু মরু অঞ্চলে বায়ু তপ্ত বায়ুর সংস্পর্শে

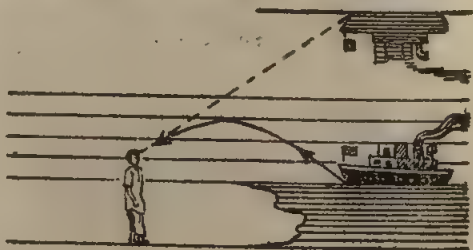


চিত্র 4.22

কাজেই উপর হইতে নিচের দিকে আসিলে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক ক্রমশ কমিতে থাকে। এই অবস্থায় কোন বস্তুর শীর্ষ হইতে (চিত্র 4.22) যখন আলোক-রশ্মি নিচের দিকে আসিতে থাকে তখন উহা ঘনতর হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রবেশ করে। কাজেই প্রতি-সরণের ফলে রশ্মিটি আপতন বিন্দুর অভিলম্ব হইতে সর্বদা দূরে সরিয়া থাকে। ইহার ফলে রশ্মিটি যত নিচে নামিতে থাকে উহার আপতন কোণের মানও তত বড় হইতে থাকে। অবশেষে আলোক-রশ্মিটি বায়ুর কোন স্তরে সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বড় কোণে আপতিত হইলে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া উপরের দিকে উঠিতে থাকে। রশ্মিটি উপরের দিকে উঠিবার সময় লঘুতর মাধ্যমে হইতে ঘনতর মাধ্যমের দিকে যান্ন বলিয়া উহা অভিলম্বের দিকে বাঁকিতে থাকে। পূর্ণ প্রতিফলিত এই আলোক-রশ্মি যখন চোখে প্রবেশ করে, তখন নিচের দিকে বস্তুটির একটি অবশীর্ষ প্রতিকৃতি দেখা যায়।

নিচের বায়ুস্তর হালকা হইলে স্বাভাবিকভাবেই উহা উপরে উঠিতে চায়। ইহাতে পরিচলনপ্রবাহ সৃষ্টি হয়। পরিচলনপ্রবাহের জন্য বিভিন্ন স্তরের প্রতিসরাঙ্ক অনবরত বদলাইতে থাকে বলিয়া আলোক-রশ্মির গতিপথও ক্রমাগত বদলায়। ইহাতে প্রতিকৃতি স্থির না থাকিয়া কম্পিত হইতে থাকে। অশান্ত জলের তল যেমন কম্পমান প্রতিবিম্ব গঠন করে, এক্ষেত্রেও এইরূপ কম্পমান প্রতিবিম্ব দেখা যায় বলিয়া সম্মুখে জল আছে এইরূপ ভ্রান্ত ধারণার সৃষ্টি হয়।

(b) উর্ধ্ব মরীচিকা : মরু অঞ্চলে ভূপৃষ্ঠ অত্যন্ত শীতল। সুতরাং, ভূমির সংলগ্ন বায়ুস্তর সর্বাপেক্ষা শীতল এবং ঘন থাকে, যত উপরে উঠা যায় বায়ুস্তর তত হালকা হইতে থাকে। অর্থাৎ, এইরূপ ক্ষেত্রে ভূপৃষ্ঠ হইতে যত উপরে যাওয়া যায় প্রতি-সরাঙ্কের মান তত কমিতে থাকে। সুতরাং, নিম্নের বায়ু-স্তর হইতে কোন আলোক-রশ্মি



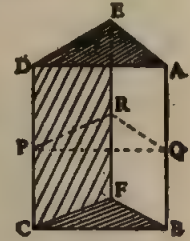
চিত্র 4.23

উপরের দিকে যাইতে থাকিলে উহা ঘনতর হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রবেশ করে। কাজেই প্রতিসৃত রশ্মি ক্রমশ অভিলম্ব হইতে দূরে সরিতে থাকে। এইরূপে আপতন কোণের

মান বাড়িতে বাড়িতে যখন কোন স্তরে উহার মান ঐ স্তরের সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বেশি হয় তখন রশ্মিটি পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া নিচের দিকে আসিতে থাকে (চিত্র 4.23) এবং নিচে আসিবার সময় অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া বাইতে থাকে। পূর্ণ প্রতিফলিত এই রশ্মি কোন দর্শকের চোখে প্রবেশ করিলে দর্শকের মনে হইবে যে, উহা উপরের দিক হইতে আসিতেছে। অর্থাৎ দর্শক উপরের দিকে বস্তুটির একটি প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে। এই প্রতিবিম্ব উপরের দিকে গঠিত হয় বলিয়া এইরূপ দৃষ্টাব্যভ্রমকে উর্ধ্ব মরীচিকা বলা হয়।

#### 4.13 প্রিজমের মধ্য দিয়া প্রতিসরণ

দুইটি সমতল পরস্পরের সহিত যে-কোন কোণে আনত থাকিয়া যদি একটি স্বচ্ছ মাধ্যমের কিছু অংশকে সীমিত করে তবে স্বচ্ছ মাধ্যমের ঐ অংশকে প্রিজম বলে। যে-সরলরেখা বরাবর ঐ তল দুইটি পরস্পরকে ছেদ করে তাহাকে প্রিজমের প্রতিসারক ধার (refracting edge) বলে। 4.24 নং চিত্রে একটি প্রিজম দেখান হইয়াছে। উহার ABFE এবং BFCD তল দুইটি EF রেখা বরাবর ছেদ করিয়াছে। EF রেখাটিই প্রিজমের প্রতিসারক ধার। যে-তল দুইটির দ্বারা স্বচ্ছ মাধ্যমটি সীমাবদ্ধ তাহাদিগকে প্রতিসারক পৃষ্ঠ (refracting faces) বলা হয়।



চিত্র 4.24

এই পৃষ্ঠদ্বয় পরস্পরের সহিত যে-কোণে আনত উহাকে প্রতিসারক কোণ (refracting angle) বা প্রিজমের কোণ (angle of the prism) বলা হয়। প্রিজমের প্রতিসারক ধার EF-এর সহিত লম্বভাবে অবস্থিত কোন সমতল প্রিজমকে ছেদ করিলে ঐ তলটিকে প্রিজমের প্রধান কোণ (principal section) বলা হয়। 4.24 নং চিত্রে PQR এইরূপ একটি প্রধান ছেদ। চিত্র হইতে স্পষ্টতই দেখা যাইতেছে যে, প্রিজমের পাঁচটি তল রহিয়াছে। সাধারণত ইহাদের মধ্যে মাত্র দুইটি তলই (প্রতিসারক পৃষ্ঠদ্বয়) প্রতিসরণের জন্য ব্যবহৃত হয়। অপর তিনটি তল সাধারণত ঘষা থাকে।

4.25 নং চিত্রে ABC কোন একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ। AB-তলের Q-বিন্দুতে একটি একবর্ণী আলোক-রশ্মি PQ আপতিত হইয়াছে। উহা AB তলে প্রতিসৃত হইয়া প্রিজমের মধ্য দিয়া QS-পথে অগ্রসর হইয়া AC-তলে S-বিন্দুতে আপতিত হইল। ঐ পৃষ্ঠে পুনরায় প্রতিসৃত হইয়া রশ্মিটি ST অভিমুখে নির্গত হইল।

Q এবং S-বিন্দুতে অভিলম্ব টানা হইল। উহারা পরস্পরের সহিত O-বিন্দুতে ছেদ করিল। Q-বিন্দুতে  $i_1$  এবং  $r_1$  যথাক্রমে আপতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণ। অনুরূপভাবে,  $r_2$  এবং  $i_2$  প্রতিসারক পৃষ্ঠ AC-এর S বিন্দুতে যথাক্রমে আপতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণ।  $i_2$ -কে নিষ্করণ কোণ (angle of emergence)-ও বলা হয়।

একবর্ণী রশ্মিটি PQR-সরলরেখা বরাবর আসিতোছিল, কিন্তু প্রতিসরণের পর ST অভিমুখে অগ্রসর হইল। এই দুই অভিমুখে মধ্যবর্তী কোণকে রশ্মিটির বিচ্যুতি কোণ (angle of deviation) বলা হয়। চিত্রে এই কোণকে  $\delta$ -অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে। 4.25 নং চিত্রানুসারে,



বিচ্যুতি কোণ,  $\delta = \angle URS = \angle RQS + \angle RSQ$  [ ত্রিভুজের বহিঃস্থ কোণ দুই বিপরীত অন্তঃস্থ কোণের যোগফলের সমান বলিয়া ]

$$\begin{aligned} \text{বা, } \delta &= (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2) \\ &= (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2) \end{aligned} \quad \dots (4.11)$$

এখন, AQOS চতুর্ভুজটির দুই বিপরীত কোণ  $\angle AQO$  এবং  $\angle ASO$  উভয়েই সমকোণ বলিয়া  $\angle A$  এবং  $\angle O$  কোণদ্বয়ের সমষ্টিও দুই সমকোণের সমান হইবে। অতএব,

$$\angle O = 180^\circ - \angle A \quad \dots (i)$$

চিত্র 4.25

আবার,  $\triangle OQS$  হইতে লিখিতে পারি,

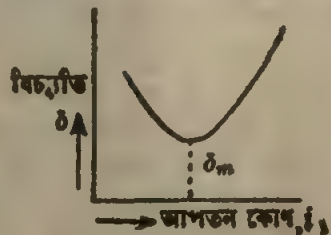
$$\angle O + (r_1 + r_2) = 180^\circ \quad \text{বা, } \angle O = 180^\circ - (r_1 + r_2) \quad \dots (ii)$$

$$\text{সমীকরণ (i) ও (ii) হইতে লেখা যায়, } A = r_1 + r_2 \quad \dots (4.12)$$

$$(4.12) \text{ ও } (4.13) \text{ নং সমীকরণ হইতে পাই, } \delta = (i_1 + i_2) - A \quad \dots (4.13)$$

কাজেই, কোন প্রিজ্মে প্রতিসৃত রশ্মির বিচ্যুতি কোণ ( $\delta$ ) আপতন কোণ ( $i_1$ ) এবং প্রিজ্মের কোণের উপর নির্ভরশীল।  $A$  এবং  $i_1$ -এর নির্দিষ্ট মানের জন্য  $i_2$ -এর মানও নির্দিষ্ট বলিয়া সমীকরণ 4.13-এর বামপক্ষের তিনটি রাশির মধ্যে শুধুমাত্র  $i_1$  এবং  $A$ -কে নিরপেক্ষ (independent) ভাবা যায়।

আপতন কোণের মান ধীরে ধীরে বাড়াইতে থাকিলে বিচ্যুতি কোণের কীরূপ পরিবর্তন হয় তাহা বিশেষভাবে লক্ষণীয়। সাধারণত আপতিত রশ্মিটির অভিমুখ নির্দিষ্ট রাখিয়া প্রিজ্মটিকে ঘুরাইয়া আপতন কোণের মান পরিবর্তন করা যায়। দেখা যাইবে যে, বিচ্যুতি কোণ প্রথমে ক্রমশ কমিতে কমিতে একটি অবন বা সর্বনিম্ন (minimum) মানে পৌছাইবে। ইহার পর আপতন কোণ  $i_1$ -এর মান বৃদ্ধি করিলে  $\delta$ -এর মান আবার বাড়িতে থাকিবে। আপতন কোণ  $i_1$  এবং বিচ্যুতি কোণ  $\delta$ -কে যথাক্রমে ভূজ ও কর্টি ধরিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিলে একটি বক্রাকার রেখা পাওয়া যায় (চিত্র 4.26)। চিত্রে বিচ্যুতির



চিত্র 4.26

ন্যূনতম মানকে  $\delta_m$  দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। ইহাকে অবন বিচ্যুতি (minimum deviation) বলা হয়। প্রিজ্মের মধ্য দিয়া আলোর প্রতিসরণের ক্ষেত্রে আলোক-রশ্মির অবন বিচ্যুতির মান প্রিজ্মের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এবং প্রিজ্মের কোণের উপর নির্ভর করে।

#### 4.14 অবম বিচ্যুতির শর্ত (Condition for minimum deviation)

অবম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আপতিত রশ্মি এবং নিষ্কাশিত রশ্মি প্রিজমের প্রতিসারক পৃষ্ঠের সহিত একই কোণ করে; অর্থাৎ এক্ষেত্রে  $i_1 = i_2$  হয়। নিম্নে ইহা প্রমাণ করা হইয়াছে।

মনে করি, যখন বিচ্যুতি কোণ অবম, অর্থাৎ যখন,  $\delta = \delta_m$  তখন আপতন কোণ এবং নিষ্কাশন কোণ যথাক্রমে  $i_1$  এবং  $i_2$ । ধরিয়া লই যে,  $i_1 \neq i_2$ । আমরা জানি যে, আলোক-রশ্মি প্রত্যাবর্ততার নীতি মানিয়া চলে। কাজেই কোন আলোক-রশ্মি TS অভিমুখে আসিয়া ABC প্রিজমের AC পৃষ্ঠে আপতিত হইলে (চিত্র 4.25) প্রত্যাবর্ততার নীতি অনুসারে উহা QP-পথে নিষ্কাশিত হইবে। এক্ষেত্রে, আপতন কোণ এবং নিষ্কাশন কোণ যথাক্রমে  $i_2$  এবং  $i_1$  হইবে। এই সময় বিচ্যুতি কোণ,  $\delta_m = i_2 + i_1 - A$ ; অর্থাৎ আলোক-রশ্মির অভিমুখ বদলাইলেও উহার বিচ্যুতি কোণের মান বদলায় না। কাজেই দেখা যায় যে, দুইটি আপতন কোণের ক্ষেত্রে ( $i_1$  এবং  $i_2$ -এর ক্ষেত্রে) বিচ্যুতির মান অবম হইবে। কিন্তু এই সিদ্ধান্ত পরীক্ষালব্ধ সত্যের বিরোধী, কেননা পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে যে, বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আপতন কোণের মান অনন্য (unique)। সুতরাং, অবম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে  $i_1$  এবং  $i_2$ -এর মান অভিন্ন। অর্থাৎ, অবম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আপতন কোণ এবং নিষ্কাশন কোণ পরস্পর সমান।

● বিকল্প প্রমাণ (কলনবিদ্যার সাহায্যে) :

$$\text{স্নেলের সূত্র হইতে পাই, } \sin i_1 = \mu \sin r_1 \quad \dots \quad (i)$$

$$\text{এবং } \sin i_2 = \mu \sin r_2 \quad \dots \quad (ii)$$

$$\text{বিচ্যুতি কোণ } \delta\text{-এর মান অবম হইলে লেখা যায় যে, } \frac{d\delta}{di} = 0 \quad \dots \quad (iii)$$

সমীকরণ (4.14)-এর উভয় পক্ষের অন্তরকলন করিয়া (differentiating) পাই,

$$\frac{d\delta}{di_1} = 1 + \frac{di_2}{di_1} = 0 \quad \text{বা,} \quad \frac{di_2}{di_1} = -1 \quad \dots \quad (iv)$$

সমীকরণ (4.12)-এ উভয় পক্ষের অন্তরকলন করিয়া পাই,

$$0 = \frac{dr_1}{di_1} + \frac{dr_2}{di_1} \quad \text{বা,} \quad \frac{dr_1}{di_1} = -\frac{dr_2}{di_1} \quad \dots \quad (v)$$

আবার, (i) এবং (ii)-কে  $i_1$ -এর সাপেক্ষে অন্তরকলন করিয়া পাই,

$$\cos i_1 = \mu \cos r_1 \frac{dr_1}{di_1} \quad \dots \quad (vi)$$

$$\cos i_2 \frac{di_2}{di_1} = \mu \cos r_2 \frac{dr_2}{di_1} \quad \dots \quad (vii)$$

সমীকরণ (iv), (v) এবং (vii) হইতে লেখা যায় যে,

$$\cos i_2 = \mu \cos r_2 \frac{dr_1}{di_1} \quad \dots \quad (viii)$$

সমীকরণ (vi)-কে সমীকরণ (viii) দ্বারা ভাগ করিয়া পাই,

$$\frac{\cos i_1}{\cos i_2} = \frac{\cos r_1}{\cos r_2} \quad \text{বা,} \quad \frac{\cos^2 i_1}{\cos^2 i_2} = \frac{\cos^2 r_1}{\cos^2 r_2}$$

$$\text{বা, } \frac{1 - \sin^2 i_1}{1 - \sin^2 i_2} = \frac{1 - \sin^2 r_1}{1 - \sin^2 r_2} = \frac{\mu^2 - \mu^2 \sin^2 r_1}{\mu^2 - \mu^2 \sin^2 r_2}$$

$$\text{বা, } \frac{1 - \sin^2 i_1}{1 - \sin^2 i_2} = \frac{\mu^2 - \sin^2 i_1}{\mu^2 - \sin^2 i_2} \quad [\text{সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে}] \dots (ix)$$

$$\text{আমরা জানি, } \frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{a-c}{b-d}$$

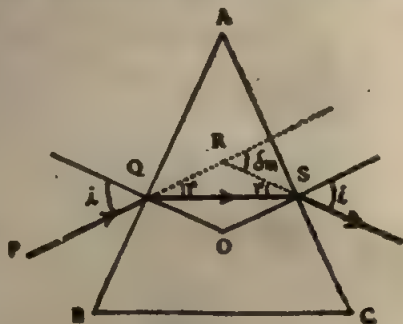
কাজেই সমীকরণ (ix) হইতে পাই,

$$\frac{1 - \sin^2 i_1}{1 - \sin^2 i_2} = \frac{(1 - \sin^2 i_1) - (\mu^2 - \sin^2 i_1)}{(1 - \sin^2 i_2) - (\mu^2 - \sin^2 i_2)} = \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu^2} = 1$$

$$\therefore 1 - \sin^2 i_1 = 1 - \sin^2 i_2 \quad \text{বা, } i_1 = i_2$$

সুতরাং দেখা বাইতেছে যে, আপতন কোণ এবং নিস্করণ কোণ সমান হইলে বিচ্যুতি কোণের মান অবশ্যই হবে।

● অবশ্য বিচ্যুতির ক্ষেত্রে রশ্মির পথ : অধিকাংশ সময় প্রিজমের ভূমি প্রতিসারক তল দুইটির সহিত একই কোণে আনত থাকে। সেইরূপ ক্ষেত্রে অবশ্য বিচ্যুতির সময় রশ্মিটি প্রিজমের মধ্য দিয়া ভূমির সমান্তরালভাবে যায়। 4.27 নং চিত্রে PQ রশ্মিটি  $i$ -কোণে AB-তলে আপতিত হইয়া অবশ্য বিচ্যুতিতে প্রিজম হইতে নিস্কান্ত হইয়াছে। এক্ষেত্রে  $i_1 = i_2 = i$  এবং  $r_1 = r_2 = r$  হইবে। লক্ষ্য কর যে, প্রিজমটির প্রথম প্রতিসারক তলে রশ্মির বিচ্যুতি  $= (i_1 - r_1) = (i - r)$ । অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় প্রতিসারক তলে রশ্মির বিচ্যুতি  $= (i_2 - r_2) = (i - r)$ ।



চিত্র 4.27

সুতরাং, দেখা বাইতেছে যে, অবশ্য বিচ্যুতির সময় দুইটি প্রতিসারক তলেই রশ্মির সমান বিচ্যুতি ঘটায়। ফলে প্রিজমের মধ্য দিয়া রশ্মির পথ প্রতিসম (symmetrical) হয়।

#### 4.15 অবশ্য বিচ্যুতি ও প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক

অবশ্য বিচ্যুতির ক্ষেত্রে  $i_1 = i_2$  এবং  $r_1 = r_2$

$\therefore$  4.13 নং সমীকরণ হইতে পাই,

$$\delta_m = i_1 + i_2 - A = 2i_1 - A; \text{ কাজেই, } i_1 = A + \delta_m/2 \quad \dots (i)$$

আবার, সমীকরণ 4.13 হইতে লেখা যায়,

$$A = r_1 + r_2 = 2r_1; \text{ কাজেই, } r_1 = A/2 \quad \dots (ii)$$

$$\text{এখন, স্নেলের সূত্র হইতে পাই, } \mu = \sin i_1 / \sin r_1 \quad \dots (iii)$$

(i) এবং (ii) হইতে  $i_1$  এবং  $r_1$ -এর মান বসাইয়া পাই,

$$\mu = \frac{\sin(\delta_m/2 + A/2)}{\sin A/2} \quad \dots (4.14)$$

এই সমীকরণটি অত্যন্ত প্রয়োজনীয়। প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়ে এই সমীকরণের সাহায্য লওয়া হয়।

#### 4.16 পাতলা প্রিজমের দ্বারা কৃত্রিম বিচ্যুতি

যে-প্রিজমের প্রতিসারক কোণ খুব ছোট তাহাকে কণি প্রিজম বা পাতলা প্রিজম বলা হয়। এইরূপ প্রিজমে আলোর দুই প্রকার আপতন আমরা আলোচনা করিব—  
(i) লম্বভাবে, (ii) প্রায় লম্বভাবে।

(i) ABC একটি পাতলা প্রিজমের প্রধান ছেদ (চিত্র 4.28)। AB তলের উপর লম্বভাবে PQ রশ্মি পড়িলে উহা প্রিজমের মধ্য দিয়া সোজাসুজি QR পথে গিয়া দ্বিতীয় প্রতিসারক তল AC-তে R-বিন্দুতে আপতিত হইবে। R-বিন্দুতে NR অভিলম্ব টান। এক্ষেত্রে আপতন কোণ,  $r =$  শীর্ষ কোণ, A ( কেননা, ইহার উভয়েই  $\angle ARQ$ -এর পূরক কোণ )।

আবার, প্রতিসরণ কোণ  $i$ , বিচ্যুতি কোণ  $\delta$  এবং আপতন কোণ  $r$ -এর সমষ্টির সমান। অর্থাৎ,  $i = r + \delta = \delta + A$

$$\therefore \sin i = \mu \sin r$$

$$\text{বা, } \sin(\delta + A) = \mu \sin A \quad \dots (i)$$

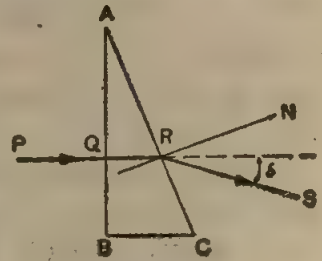
কিন্তু A খুব ছোট বলিয়া  $r$  এবং  $\delta$ -এর মানও খুব ছোট হইবে। সুতরাং, সমীকরণ (i) হইতে পাই,

$$\delta + A = \mu A \quad (\because \theta \text{ ক্ষুদ্র হইলে } \sin \theta = \theta)$$

$$\text{বা, } \delta = (\mu - 1) A \quad \dots (4.15)$$

(ii) আপতন কোণ ঠিক লম্ব না হইয়া কোন

একটি ক্ষুদ্র কোণ করিয়া প্রথম প্রতিসারক পৃষ্ঠে আপতিত হইলে বিচ্যুতির মান কত হইবে নিম্নে তাহা নির্ণয় করা হইয়াছে ( চিত্র 4.28 )।



চিত্র 4.28

AB-তলে আপতন কোণ  $i_1$  এবং প্রতিসরণ কোণ  $r_1$  বলিয়া

$$\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{i_1}{r_1} \quad [\text{যেহেতু, } i_1 \text{ এবং } r_1 \text{ ক্ষুদ্র}]$$

$$\therefore i_1 = \mu r_1$$

$$\text{অনুরূপভাবে, } \frac{1}{\mu} = \frac{\sin r_2}{\sin i_2} = \frac{r_2}{i_2}$$

$$\therefore i_2 = \mu r_2$$

$$\delta = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$$

$$= (\mu r_1 - r_1) + (\mu r_2 - r_2)$$

চিত্র 4.29

$$= (\mu - 1)(r_1 + r_2) = (\mu - 1) A \quad (\because r_1 + r_2 = A)$$



অর্থাৎ, পাতলা প্রিজ্মে লম্বভাবে বা প্রায় লম্বভাবে আপতিত হইলে রশ্মির বিচ্যুতির মান স্থির থাকে। এই বিচ্যুতির মান  $(\mu - 1) A$ ।

● সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণসমী ●

উদাহরণ 4.11 প্রিজ্মের কোণের মান কত হইলে  $50^\circ$ -তে আপতিত একটি আলোক-রশ্মির বিচ্যুতি অবশ্য হইবে? (প্রিজ্মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক  $= 1.532$ )

সমাধান : প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $i_1 = 50^\circ = i_2 = i$  (ধরি), কিন্তু  $\delta = i_1 + i_2 - A$

$$\text{কাজেই, } \delta_m = 2i - A \text{ বা, } i = \frac{A + \delta_m}{2} = 50^\circ$$

আমরা জানি,  $\mu = \sin \frac{1}{2}(A + \delta_m) / \sin (A/2)$

$$\therefore \mu = \frac{\sin i}{\sin (A/2)} = \frac{\sin 50^\circ}{\sin (A/2)} \text{ বা, } 1.532 = \frac{\sin 50^\circ}{\sin (A/2)}$$

$$\text{বা, } \sin \frac{A}{2} = \frac{0.766}{1.532} = 0.5 \text{ বা, } \frac{A}{2} = 30^\circ \text{ বা, } A = 60^\circ$$

উদাহরণ 4.12 খুব পাতলা একটি প্রিজ্ম আলোক-রশ্মির  $5^\circ$  বিচ্যুতি ঘটায়। প্রিজ্মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 হইলে প্রিজ্মের কোণ কত?

[উচ্চ মাধ্যমিক (রিপদুরা), 1986]

সমাধান : পাতলা প্রিজ্মের দ্বারা আলোক-রশ্মির বিচ্যুতি,

$$\delta = (\mu - 1) A \quad \dots \quad (i)$$

এখানে  $\delta = 5^\circ$  এবং  $\mu = 1.5$

কাজেই, (i) হইতে পাই,

$$5^\circ = (\mu - 1) A = (1.5 - 1) A$$

$$\text{বা, } A = 10^\circ$$

উদাহরণ 4.13 দেখাও যে, A প্রতিসারক কোণবিশিষ্ট কোন প্রিজ্মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক  $\mu = \sin (A + \delta) / \sin A$ ; এখানে  $\delta =$  একটি প্রতিসারক পৃষ্ঠে লম্বভাবে আপতিত রশ্মির বিচ্যুতি কোণ।

সমাধান : আমরা জানি,  $\delta = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$  ... (i)

এবং  $A = r_1 + r_2$  ... (ii)

শর্তানুসারে,  $i_1 = r_1 = 0$  ... (iii)

কাজেই, (i) ও (iii) হইতে পাই,  $\delta = i_2 - r_2$  বা,  $i_2 = \delta + r_2$  ... (iv)

আবার, (ii) ও (iii) হইতে পাই,  $A = r_2$  ... (v)

প্রিজ্মের উপাদান প্রতিসরাঙ্ক,  $\mu = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$

সমীকরণ (iv) এবং (v) হইতে  $i_2$  এবং  $r_2$ -এর মান বসাইয়া পাই,

$$\mu = \frac{\sin (\delta + r_2)}{\sin A} = \frac{\sin (A + \delta)}{\sin A}$$

**উদাহরণ 4.14** 1.5 প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট একটি প্রিজ্‌মের ন্যূনতম বিচ্যুতির মান ইহার প্রতিসারক কোণের সমান। প্রিজ্‌মটির প্রতিসারক কোণের মান কত?

[ লন্ডন বিশ্ববিদ্যালয় ]

**সমাধান :** আমরা জানি যে, কোন প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin A/2} \quad \dots \quad (i)$$

এখানে, A = প্রিজ্‌মের প্রতিসারক কোণ এবং  $\delta_m$  = ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $\delta_m = A$  ... (ii)

কাজেই, (i) এবং (ii) হইতে পাই,

$$\mu = \frac{\sin A}{\sin A/2} = \frac{2 \sin A/2 \cos A/2}{\sin A/2}$$

এখন,  $\mu = 1.5$  বলিয়া লেখা যায়,

$$1.5 = 2 \cos A/2 \quad \text{বা,} \quad \cos A/2 = 0.75 \quad \text{বা,} \quad A/2 = 42^\circ.3 \quad (\text{প্রায়})$$

সুতরাং, প্রিজ্‌মের প্রতিসারক কোণ,  $A = 42^\circ.3 \times 2 = 84^\circ.6$

#### 4.17 আপতন কোণের সীমাস্থ মান (Limiting value of angle of incidence)

প্রিজ্‌মের দ্বিতীয় প্রতিসারক পৃষ্ঠ AC-তে (চিত্র 4.24) আলোক-রশ্মি আপতন কোণ  $r_2$ -এর মান স্ফটিক কোণ ( $\theta_c$ ) অপেক্ষা বৃহত্তর হইলে ঐ পৃষ্ঠ হইতে কোন আলোক-রশ্মি নিষ্কাশ হইতে পারে না। আপতন কোণ  $i_1$ -এর মান কমাইতে থাকিলে  $r_1$ -এর মানও কমিতে থাকিবে, ইহাতে  $r_2$ -এর মান বাড়িবে, কেননা,  $(r_1 + r_2) = A = \text{ধ্রুবক}$ । যখন  $r_2 = \theta_c$  তখন,

$$\sin r_2 = \sin \theta_c = \frac{1}{\mu} \quad \dots \quad i)$$

এই অবস্থায়  $i_1$ -এর মান কত তাহা নির্ণয় করা হইল। স্নেলের সূত্র হইতে লেখা যায়,  $\sin i_1 = \mu \sin r_1 = \mu \sin (A - r_2)$  [  $\because (r_1 + r_2) = A$  ]

$$= \mu [ \sin A \cos r_2 - \cos A \sin r_2 ]$$

$$= \mu \sin A \cos \theta_c - \cos A (\mu \sin \theta_c) \quad [ \because r_2 = \theta_c ]$$

$$= \mu \sin A \cos \theta_c - \cos A \quad [ \text{সমীকরণ (i) হইতে} ]$$

$$= \mu \sin A \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c} - \cos A$$

$$= \mu \sin A \sqrt{1 - \frac{1}{\mu^2}} - \cos A \quad [ \text{সমীকরণ (i) হইতে} ]$$

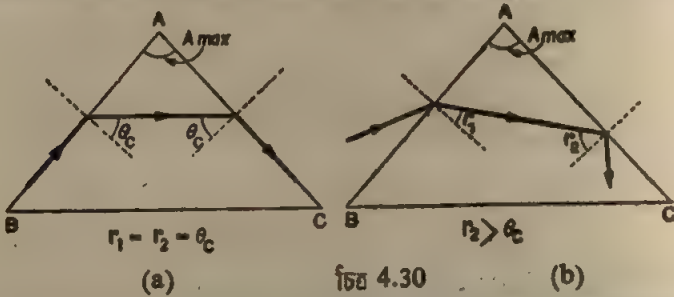
$$= \sqrt{\mu^2 - 1} \sin A - \cos A$$

$$\therefore i_1 = \sin^{-1} \{ \sqrt{\mu^2 - 1} \sin A - \cos A \} \quad \dots \quad (4.16)$$

ইহাই আপতন কোণ  $i_1$ -এর সীমাস্থ মান।  $i_1$ -এর মান ইহা অপেক্ষা কম হইলে  $r_2$ -এর মান  $\theta_c$  অপেক্ষা বেশি হইবে, ফলে প্রিজ্‌মের দ্বিতীয় প্রতিসারক পৃষ্ঠ হইতে আলোক-রশ্মি নিষ্কাশ হইতে পারে না।

#### 4.18 প্রিজম-কোণের সীমান্ত মান (Limiting angle of prism)

আপতন কোণ  $i_1$ -এর মান  $90^\circ$  অপেক্ষা বেশি হইতে পারে না ; কাজেই  $r_1$ -এর মানও সর্বোচ্চ কোণ  $\theta_c$  অপেক্ষা বেশি হইতে পারে না। আবার,  $r_2$ -এর মান  $\theta_c$  অপেক্ষা বেশি হইলে প্রিজমের AB পৃষ্ঠে আপতিত রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়া AC পৃষ্ঠ হইতে



চিত্র 4.30 (a) (b)

নিষ্কাশিত হইতে পারে না। কাজেই AC প্রতিসারক পৃষ্ঠ হইতে নিষ্কাশিত রশ্মি (emergent ray) পাইতে হইলে  $r_1$  এবং  $r_2$ —ইহাদের উভয়ের সর্বোচ্চ মান  $\theta_c$ -এর সমান হইবে।

কাজেই নিষ্কাশিত রশ্মি পাইতে হইলে প্রিজম কোণ A-এর সর্বোচ্চ মান

$$A_{max} = \theta_c + \theta_c = 2 \sin^{-1}(1/\mu) \quad \dots (4.17)$$

স্পষ্টতই, প্রিজম-কোণের সমান এই সর্বোচ্চ মান  $A_{max}$ -এর সমান হইলে প্রিজমের AB-পৃষ্ঠে যে-বিষয়া আপতিত কোণ আলোক-রশ্মি প্রিজমে প্রতিসৃত হইয়া AC-পৃষ্ঠে যে-বিষয়া বাহির হইয়া আসিবে [চিত্র 4.30 (a)]। AB-পৃষ্ঠে কোন রশ্মি  $90^\circ$  অপেক্ষা কম কোণ করিয়া আপতিত হইলে AC পৃষ্ঠ হইতে নিষ্কাশিত হইতে পারিবে না, কেননা এক্ষেত্রে  $r_2$ -এর মান  $\theta_c$  অপেক্ষা বেশি হইবে [চিত্র 4.30 (b)]।

#### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণনী •

**উদাহরণ 4.15** একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক  $\sqrt{3}/2$  এবং প্রতিসারক কোণ  $90^\circ$ । ইহার মধ্য দিয়া প্রতিসরণের সময় আলোক-রশ্মির অবম বিচ্যুতির মান কত হইবে? দেখাও যে, ন্যূনতম যে-আপতন কোণে প্রিজমের এক পৃষ্ঠে আলো পড়িলে অপর পৃষ্ঠ হইতে নিষ্কাশিত রশ্মি পাওয়া যাইবে তাহার মান  $45^\circ$ । [জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1978]

**সমাধান :** প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক,  $\mu = \sqrt{3}/2$

এবং প্রিজমের প্রতিসারক কোণ,  $A = 90^\circ$

$$\text{অবম বিচ্যুতি } \delta_m \text{ হইলে লেখা যায়, } \mu = \sin \frac{A + \delta_m}{2} / \sin A/2 = \frac{\sin(45^\circ + \delta_m/2)}{\sin 45^\circ}$$

$$\text{বা, } \sin(45^\circ + \delta_m/2) = \mu \sin 45^\circ = \sqrt{\frac{3}{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{বা, } \sin(45^\circ + \delta_m/2) = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{কাজেই, } 45^\circ + \delta_m/2 = 60^\circ \quad \text{বা, } \delta_m = 30^\circ$$

আপতন কোণের যে-ন্যূনতম মানের জন্য নিম্নোক্ত রাশি পাওয়া যাইবে তাহার মান  $i$  খরিলে লেখা যায়,

$$\sin i = \sqrt{\mu^2 - 1} \sin A - \cos A = \sqrt{\frac{4}{3} - 1} \sin 90^\circ - \cos 90^\circ = \sqrt{\frac{1}{3}}$$

$$\therefore i = 45^\circ$$

**উদাহরণ 4.16** কোন প্রিজমের প্রতিসারক কোণ  $60^\circ$ । উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক  $\sqrt{\frac{7}{3}}$ । একটি আলোক-রাশি প্রথম প্রতিসারক পৃষ্ঠে সর্বনিম্ন কত কোণে আপতিত হইলে ঐ রাশিটি দ্বিতীয় প্রতিসারক পৃষ্ঠ হইতে কোনক্রমে (অর্থাৎ, দ্বিতীয় পৃষ্ঠে বর্ণিরা) বাহির হইয়া আসিবে? [জ্যেষ্ঠ এন্ট্রান্স, 1973]

**সমাধান :** আমরা জানি, আপতন কোণ  $i_1$ -এর সীমান্ত মান নির্ণয়ের সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় :

$$\sin i_1 = \sqrt{\mu^2 - 1} \sin A - \cos A \quad [\text{সমীকরণ 4.16 হইতে}]$$

$$\therefore \sin i_1 = \sqrt{\frac{7}{3} - 1} \sin 60^\circ - \cos 60^\circ = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\text{কাজেই, } i_1 = 30^\circ$$

### সার-সংক্ষেপ

এক মাধ্যম হইতে আসিয়া যখন কোন আলোক-রাশি অন্য কোন মাধ্যমের বিভেদ-তলে আপতিত হয় তখন সাধারণত ইহার এক অংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করে। দুই মাধ্যমের বিভেদ-তলে আপতিত আলোক-রাশির একাংশের দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশের এই প্রক্রিয়াটিকে প্রতিসরণ বলা হয়। প্রতিসরণের সময় সাধারণত আলোক-রাশির গমন-পথের পরিবর্তন হয়। আলোর প্রতিসরণ নির্ণয়ের দুইটি সূত্র অনুসারে হইয়া থাকে।

**প্রথম সূত্র :** আপতন কিম্বতে দুই মাধ্যমের বিভেদ-তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব, আপতিত রাশি এবং প্রতিসৃত রাশি একটি সমতলে অবস্থান করে।

**দ্বিতীয় সূত্র :** একবর্ণী কোন আলোক-রাশি দুইটি মাধ্যমের বিভেদ-তলে প্রতিসৃত হইলে আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুবক হইবে। এই ধ্রুবকটিকে প্রতিসরাঙ্ক বলা হয়। অর্থাৎ,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = {}_1\mu_2$$

এখানে  ${}_1\mu_2$  হইল প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক। এই সূত্রটিকে স্নেলের সূত্র বলা হয়। কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক মাধ্যমের প্রকৃতি এবং আলোর বর্ণের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

দ্বিতীয় মাধ্যমের সাপেক্ষে প্রথম মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক  ${}_2\mu_1$ -এর সহিত প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক  ${}_1\mu_2$ -এর সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$${}_2\mu_1 = \frac{1}{{}_1\mu_2}$$

লঘুতর মাধ্যম হইতে কোন দর্শক নিচের ঘনতর মাধ্যমে অবস্থিত কোন বস্তুর দিকে তাকাইলে সে দেখিবে যে, বস্তুটির অবস্থানের আপাত গভীরতা উহার প্রকৃত গভীরতা



হইতে কম হইবে। যদি লঘুতর মাধ্যমের সাপেক্ষে ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক  $\mu$  হয় তবে দেখান যায় যে,

$$\frac{\text{প্রকৃত গভীরতা}}{\text{আপাত গভীরতা}} = \mu$$

ঘনতর মাধ্যমে অবস্থিত কোন দর্শক উপরের লঘুতর মাধ্যমে অবস্থিত কোন বস্তুর দিকে তাকাইলে সে দেখিবে যে, বস্তুটির অবস্থানের আপাত উচ্চতা উহার প্রকৃত উচ্চতা অপেক্ষা বেশি হইবে। যদি লঘুতর মাধ্যমের সাপেক্ষে ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক  $\mu$  হয় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে,

$$\text{আপাত উচ্চতা} = \mu \times \text{প্রকৃত উচ্চতা}$$

আলো যখন ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর কোন মাধ্যমের বিভেদতলে আপতিত হয় তখন প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বড় হয়। এক্ষেত্রে আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের ক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ  $90^\circ$  হয়; অর্থাৎ, এই ক্ষেত্রে আলোক-রশ্মি প্রতিসরণের পর দুই মাধ্যমের বিভেদতল বেষ্মিয়া অগ্রসর হয়। আপতন কোণের এই মানকে সঙ্কট কোণ বলা হয়। আপতন কোণের মান সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বেশি হইলে আলো বিভেদতলে সম্পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। এই ঘটনাকে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন বলা হয়।

লঘুতর মাধ্যমের সাপেক্ষে ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক  $\mu$  হইলে সঙ্কট কোণ  $\theta_c$ -এর মান নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় :

$$\sin \theta_c = \frac{1}{\mu}$$

মরীচিকা বায়ুর বিভিন্ন স্তরে প্রতিসরণ আলোর এবং আলোর আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত।

দুইটি সমতল পরস্পরের সহিত আনত থাকিয়া যদি একটি স্বচ্ছ মাধ্যমের কোন অংশকে সীমিত করে তবে স্বচ্ছ মাধ্যমের ঐ অংশকে প্রিজম বলা হয়। প্রিজমের দুই প্রতিসারক পৃষ্ঠ পরস্পরের সহিত যে-কোণে আনত থাকে তাহাকে প্রতিসারক কোণ বা প্রিজমের কোণ বলা হয়।

একটি আলোক-রশ্মি  $i_1$  কোণে কোন প্রিজমের এক পৃষ্ঠে আপতিত হইলে এবং রশ্মিটি  $i_2$  কোণে অন্য পৃষ্ঠ হইতে নিষ্কাশিত হইলে রশ্মিটির বিচ্যুতি হইবে

$$\delta = (i_1 + i_2) - A$$

এখানে A হইল প্রিজমের কোণ।  $i_1$  এবং  $i_2$  পরস্পর সমান হইলে রশ্মিটির বিচ্যুতির মান ন্যূনতম হইবে। প্রিজম-কর্তৃক আলোক-রশ্মির বিচ্যুতির ন্যূনতম মান  $\delta_m$  হইলে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu = \frac{\sin (A + \delta_m) / 2}{\sin (A / 2)}$$

যদি কোন প্রিজমের এক পৃষ্ঠের উপর আলোক-রশ্মি এইরূপ কোণে আপতিত হয় যাহাতে ঐ রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়া গিয়া দ্বিতীয় পৃষ্ঠে সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বড় কোণে আপতিত হয় তবে আলোক-রশ্মিটি দ্বিতীয় পৃষ্ঠে পূর্ণ প্রতিফলিত হয়, ফলে দ্বিতীয় পৃষ্ঠ

হইতে বাহির হইয়া আসিতে পারে না। আপতন কোণের যে-সর্বোচ্চ মানের ( $i_1$ ) ক্ষেত্রে প্রিজমের দ্বিতীয় পৃষ্ঠ হইতে আলো নিষ্কাশিত হইতে পারে উহা নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে :

$$i_1 = \sin^{-1} \{ \sqrt{\mu^2 - 1} \sin A - \cos A \}$$

প্রিজমের কোণ  $2\theta_0$  ( $\theta_0$ =সঙ্কট কোণ) অপেক্ষা বেশি হইলে প্রিজমের মধ্য দিয়া কোন ক্ষেত্রেই আলোক-রশ্মি বাহির হইতে পারে না।

#### প্রশ্নাবলী 4

#### হৃদয়ভর প্রশ্নাবলী

- কোন মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্কের মান 1 অপেক্ষা কম হওয়া কি সম্ভব?
  - একটি মাধ্যমের তুলনায় অন্য একটি মাধ্যমের আলোক-ঘনত্বকে কখন বেশি বলা হয়?
- দৃষ্টান্তসহ উত্তর দাও।
- কোন জলাশয়ের পাড়ে দণ্ডায়মান দর্শক উহার তলদেশটিকে কেবলমাত্র উখিতই দেখে না, উহাকে দূরের দিকে ঝাঁকভাবে উপরে উঠিয়া যাইতেও দেখে। উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।
  - তুমি যদি পরিষ্কার জলে অবস্থিত একটি মাছকে গুলিবিদ্ধ করিতে চাও তাহা হইলে তুমি মাছটির আপাত অবস্থানের উপরে, নাকি নিচে লক্ষ্য করিয়া গুলি ছুড়িবে? ব্যাখ্যা কর।
  - কোন মাধ্যমে আলোর বেগের সহিত ঐ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক কী?
  - কাচে কোন্ আলোর বেগ বেশি, বেগুণী আলোর, নাকি লাল আলোর? ব্যাখ্যাসহ উত্তর দাও।
  - পেরিস্কোপে সমতল দর্পণের পরিবর্তে সমকোণী সমান্তরাল প্রিজম ব্যবহৃত হয়। ইহার কারণ কী?
  - ‘সমতল দর্পণের তুলনায় সমকোণী প্রিজম অপেক্ষাকৃত ভাল প্রতিফলক।’ এ উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।
  - মরীচিকা কি প্রতিবিম্ব? যদি প্রতিবিম্ব হয় তবে উহা সদ্বিম্ব, নাকি অসদ্বিম্ব?
  - একটি প্রিজমের উপাদানের আলোক-ঘনত্ব অপেক্ষা যদি উহার চতুঃপাশ্বে মাধ্যমের আলোক-ঘনত্ব বেশি হয় তাহা হইলে ঐ প্রিজমের একটি প্রতিসারক পৃষ্ঠে আপতিত আলোক-রশ্মি প্রতিসৃত হইয়া কোন্ দিকে বিচ্যুত হইবে?
  - কোন মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্কের সহিত ঐ মাধ্যমে আলোর বেগের সম্পর্ক কী? বায়ু, জল এবং কাচ—এই তিনটি মাধ্যমের মধ্যে কোন্টিতে আলোর বেগ সর্বাপেক্ষা বেশি এবং কোন্টিতে আলোর বেগ সর্বাপেক্ষা কম?
  - কাচের মধ্য দিয়া লাল বর্ণের আলো এবং বেগুণী বর্ণের আলো পাঠান হইল। এক্ষেত্রে কোন্ বর্ণের আলোর বেগ বেশি হইবে?
  - সূর্যাস্ত এবং সূর্যোদয়ের সময় সূর্যের উল্লম্ব ব্যাসকে উহার অনুভূমিক ব্যাস অপেক্ষা ছোট মনে হয় কেন?
  - একটি আলোক-রশ্মি একটি পর্দার উপর কোন নির্দিষ্ট বিন্দুর দিকে অভিসৃত হইতেছে। এই অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে একটি সমান্তরাল কাচের পাত স্থাপন করা হইল; ইহাতে অভিসরণ-বিন্দুটি কোন্ দিকে সরিবে? চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1974]

15. বৈজ্ঞানিক সৃতিসহ-ব্যাখ্যা কর : (i) একটি ভূসাকালি-মাথা ধাতব গোলককে জলপূর্ণ বীকারে ডুবাইলে উহাকে চকুচকু দেখায়। (ii) আপাত-দৃষ্টিতে জলাশয়ের গভীরতাকে উহার প্রকৃত গভীরতা অপেক্ষা কম বলিয়া মনে হয়। (iii) বায়ুতে বিভিন্ন স্তরের প্রতিসরাঙ্কের ব্যবধানের জন্য মরীচিকার সৃষ্টি হয়। (iv) একটি দণ্ডকে আংশিকভাবে জলে নিমজ্জিত করিলে দণ্ডটিকে বাঁকা দেখায়। (v) জলের মধ্যে বায়ু বুদবুদ গঠিত হইলে উহাদের চকুচকু দেখায়।

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

16. (a) আলোর প্রতিসরণ কাহাকে বলে? কোন তলে অভিলম্ব বরাবর আপতিত রশ্মির প্রতিসরণ কোণ কত হয়?

(b) একটি কাচের ফলকের ভিতর দিয়া লম্বভাবে দেখিলে লক্ষ্যবস্তুর প্রকৃত অবস্থান এবং আপাত অবস্থানের সম্পর্ক কী হইবে তাহা প্রতিষ্ঠা কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983 ]

17. আলোর প্রতিসরণ বলিতে কী বুঝ? আলোর প্রতিসরণের সূত্র দুইটি বিবৃত কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982 ] কোন মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক কাহাকে বলে?

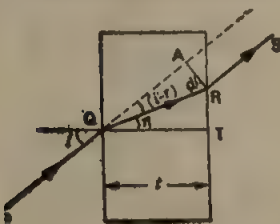
18. (i) সঙ্কট কোণের সংজ্ঞা দাও [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983 ]। ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সহিত ইহার সম্পর্ক কী? [ সংস্করণ নমুনা প্রশ্ন, 1980 ]

(ii)  $a$  এবং  $b$  দুইটি আলোক মাধ্যম। ইহাদের পরম প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে  $\mu_a$  এবং  $\mu_b$  হইলে দেখাও যে,  $a$  মাধ্যমের সাপেক্ষে  $b$  মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক  $\mu_{ab} = \mu_b / \mu_a$ ।

19. একটি সমান্তরাল ফলকের মধ্য দিয়া আলোক-রশ্মি প্রতিসৃত হইলে দেখাও যে, আপতিত রশ্মি ও নিষ্কাশিত রশ্মি পরস্পরের সমান্তরাল। ফলকটির বেধ  $i$ , ইহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক  $\mu$  এবং রশ্মির আপতন কোণ  $i$  হইলে প্রমাণ কর যে, রশ্মিটির পার্শ্বসরণ

$$d = t \left\{ \sin i - \frac{\sin i \cos i}{\sqrt{\mu^2 - \sin^2 i}} \right\}$$

[ সমাধানের ইঙ্গিত : 4.31 নং চিত্রটি দ্রষ্টব্য। PQ রশ্মির পার্শ্বসরণ = RA =  $d$  বা,  $d = QR \sin(i - r)$



চিত্র 4.31

$$= \frac{QR}{QT} \cdot QT \sin(i - r) = \frac{t}{\cos r} \sin(i - r)$$

$$= t \left\{ \sin i - \frac{\cos i \sin r}{\cos r} \right\}$$

$$\text{বা, } d = t \left\{ \sin i - \frac{\cos i \sin r}{\sqrt{1 - \sin^2 r}} \right\} \dots (i)$$

$$\text{আবার, } \sin i = \mu \sin r \dots (ii)$$

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে  $r$  অপনয়ন করিয়া পাই,

$$d = t \left\{ \sin i - \frac{\cos i \sin i}{\sqrt{\mu^2 - \sin^2 i}} \right\}$$

20. (a) একটি মাধ্যমের সাপেক্ষে অপর একটি মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিতে কী বুঝ? ইহা আলোর বর্ণের সহিত কীভাবে পরিবর্তিত হয়? পরম প্রতিসরাঙ্কের তাৎপর্য কী?

(b) দেখাও যে, আলতাকার এককণ্ড কাচের মধ্যে প্রতিসরণকালে আপতিত রশ্মি ও নিস্কান্ত রশ্মি পরস্পর সমান্তরাল হয়।

21. (a) সমতলে প্রতিসরণের সূত্রগুলি লিখ। প্রতিসরাঙ্ক বলিতে কী বুঝ? প্রিজম দ্বারা আলোর প্রতিসরণের ক্ষেত্রে  $\mu = \frac{\sin(A + \delta_m)/2}{\sin(A/2)}$  এই সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।  $\mu$ ,  $A$ ,  $\delta_m$  প্রচলিত অর্থে ব্যবহৃত হইয়াছে। ধরিয়া লও যে, নিস্কান্ত রশ্মির চ্যুতি ন্যূনতম হইলে আপতন কোণ নিস্ক্রমণ কোণের সমান হইবে।

(b) প্রিজমের সাহায্যে আপতিত রশ্মির চ্যুতি কীভাবে  $180^\circ$  করা যায় চিত্রসহ দেখাও।  
[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987 ]

22. (a)  $d$  উচ্চতাবিশিষ্ট একটি আলতাকার কাচখণ্ডের (প্রতিসরাঙ্ক  $\mu$ ) নিচে অবস্থিত একটি কালির বিন্দুকে কাচখণ্ডের উপর হইতে লম্বভাবে দোঁখলে বিন্দুটি দর্শকের অভিমুখে  $(\mu - 1)d/\mu$  দূরত্ব সরিয়া আসিয়াছে বলিয়া মনে হয়—ইহা প্রমাণ করিয়া দেখাও।

(b) দেখাও যে, কোন প্রিজমের কোণ উহার উপাদানের সঙ্কট কোণের দ্বিগুণের অধিক হইলে ঐ প্রিজমের মধ্য দিয়া আলো প্রতিসৃত হইয়া নির্গত হইতে পারে না।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980 ]

23. (a) কোন প্রিজমের প্রধান ছেদের সংজ্ঞা দাও।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980 ]

(b) কোন প্রিজমের ক্ষেত্রে  $\mu = \frac{\sin[(A + \delta_m)/2]}{\sin(A/2)}$  এই সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।

এখানে  $\mu$  = প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক,  $A$  = প্রতিসারক কোণ এবং  $\delta_m$  = ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ।  
[ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980, 1982 ]

(c) দেখাও যে, একটি পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে  $\delta = A(\mu - 1)$ । এখানে  $\delta$  = বিচ্যুতি কোণ,  $A$  = প্রিজমের প্রতিসারক কোণ এবং  $\mu$  = প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980 ]

24. (a) 'লাভাস্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন' এবং 'সঙ্কট কোণ' বলিতে কী বুঝ?

(b) সঙ্কট কোণ এবং প্রতিসরাঙ্কের মধ্যে একটি সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981, 1986 ]

25. মরীচিকা কাহাকে বলে? মরীচিকা কীরূপে সৃষ্টি হয় একটি চিত্রের সাহায্যে তাহা বুঝাইয়া দাও। উহা সর্দবিষ, না অসর্দবিষ?

26. (a) প্রিজম কাহাকে বলে? প্রিজমের কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ কর।  $60^\circ$  প্রতিসারক কোণবিশিষ্ট একটি প্রিজমের কোণ প্রতিসারক পৃষ্ঠে একটি আলোক-রশ্মি লম্বভাবে আপতিত হইলে প্রিজমের মধ্য দিয়া উহার গতিপথ কীরূপ হইবে তাহা চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। ধরিয়া লও যে, কাচের সঙ্কট কোণ =  $42^\circ$ ।

(b) প্রিজমের দ্বারা আলোকের প্রতিসরণের প্রসঙ্গে চ্যুতি কোণ কাহাকে বলে? উক্ত চ্যুতি কোণের রাশিমালাটি নির্ণয় কর। আপতন কোণের পরিবর্তনের সহিত চ্যুতি কোণের কীরূপ পরিবর্তন হয় চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1983 ]

27. (a) প্রিজমের দ্বারা প্রতিসরণের ক্ষেত্রে বিচ্যুতি কোণ কাহাকে বলে? উক্ত বিচ্যুতি



কোণের মান নির্ণয় কর। আপতন কোণের পরিবর্তনের সহিত বিচ্যুতি কোণ কীভাবে পরিবর্তিত হয় তাহা চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

(b) একটি পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978, 1986]

(c) (i) সমতল দর্পণের ন্যায় ব্যবহার করিবার জন্য এবং (ii) আপতিত আলোক-রশ্মির  $180^\circ$  বিচ্যুতি ঘটাইবার জন্য একটি সমকোণী সমন্বিত্রিভুজকে কীভাবে ব্যবহার করিবে তাহা চিত্রের সাহায্যে দেখাও। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

28. (a) একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক ও ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের মধ্যে সম্পর্কটি নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1979 ; (ত্রিপুরা), 1986]

(b) কোন আলোক-রশ্মিকে  $180^\circ$  বিচ্যুত করিবার জন্য একটি প্রিজমকে কীভাবে ব্যবহার করিবে ? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

(c) প্রমাণ কর যে, কোন পাতলা প্রিজমের উপর আলো পড়িলে উহার বিচ্যুতি  $\delta = (\mu - 1)A$ ,  $A$  = প্রিজমের প্রতিসারক কোণ,  $\mu$  = প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক।

(d) দেখ : যে, কোন প্রিজমের কোণ উহার উপাদানের সঙ্কট কোণের বিপুল হইলে ঐ প্রিজমের কোন বহির্গমন রশ্মি থাকিবে না। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1986]

29. (a) প্রিজম প্রসঙ্গে 'প্রতিসারক ধার', 'প্রতিসারক পৃষ্ঠ' এবং 'প্রিজমের কোণ' বলিতে কী বুঝ ব্যাখ্যা কর। (b) প্রিজমের ক্ষেত্রে ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্ত নির্ণয় কর। (c) পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম এবং সমশীর্ষকারী প্রিজম কী ? ইহাদের ব্যবহার ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981]

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

30. কাচের প্রতিসরাঙ্ক  $1.5$  এবং শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ  $3 \times 10^{10}$  cm/sec হইলে কাচে আলোর বেগ নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986] [ $2 \times 10^{10}$  cm/sec]

31. একখণ্ড কাগজের উপর একটি কালির ফোঁটা আছে। কাগজটির উপর একটি পুরু কাচের ব্লক রাখা আছে। ব্লকটির বেধ  $10$  cm এবং তাহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক  $1.5$ ; ব্লকটির উপর হইতে সোজাসুজি নিচের দিকে তাকাইলে কালির ফোঁটাটিকে কতটা উপরে উঠিয়া আছে বলিয়া মনে হইবে ? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1983] [ $3.33$  cm]

32. একটি কাগজের উপর একটি কালো বিন্দু আছে এবং ইহার উপর  $4.5$  cm বেধ-বিশিষ্ট একটি কাচের প্লেট রাখা হইল; উল্লম্বভাবে দেখিলে মনে হয় যে, কাচের উপরিতল হইতে কালো বিন্দুটি  $3$  cm নিচে আছে। প্লেটের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। যে-সমীকরণ ব্যবহার করিবে তাহা প্রমাণ কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982] [ $1.5$ ]

33.  $20$  ft গভীর পরিষ্কার জলের একটি দীঘির আপাত গভীরতা নির্ণয় কর। বায়ুর সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক  $\frac{4}{3}$  ধরিয়া লও। [15 ft]

34. বায়ুর সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক  $1.33$  এবং বায়ুর সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক  $1.5$  হইলে কাচের সাপেক্ষে জলের এবং জলের সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

[0.889, 1.125]

35. (a) কোন বস্তু ফলকের ভিতর দিয়ে লম্বভাবে তাকাইলে কোন বস্তুর অবস্থানের যে-আপাত পরিবর্তন লক্ষিত হয় তাহার পরিমাণ নির্ধারণ কর একটি সূত্র নির্ণয় কর। (b) 6 cm পুরু একটি কাচের ফলকের তলদেশে একটি চিহ্ন লাগান আছে। উপর হইতে লম্বভাবে তাকাইলে চিহ্নটি কতটুকু উপরে উঠিয়াছে বলিয়া মনে হইবে? ( $\mu = \frac{3}{2}$ )

[ উচ্চ মাধ্যমিক (দ্বিপদী), 1979 ] [ 2 cm ]

36. একটি জলপূর্ণ ট্যাঙ্কের জলের মধ্যে বায়ু হইতে একটি আলোক-রশ্মি  $30^\circ$  আপতন কোণে প্রবেশ করিল, প্রতিসরণের পরে উহা ট্যাঙ্কের অনুভূমিক তলদেশে স্থাপিত একখানা সমতল দর্পণের উপর আপতিত হইল এবং প্রতিফলনের পর জল হইতে নির্গত হইল। আপতিত ও নির্গত রশ্মির মধ্যে কোণ কত হইবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1973 ] [  $120^\circ$  ]

37. একটি জলপূর্ণ ট্যাঙ্কের 46 cm গভীরে একটি ছোট বৈদ্যুতিক বাতি রাখা আছে। (i) জলের মুক্ততলের কতখানি ক্ষেত্রফল জুড়িয়া আলো নির্গত হইবে? (ii) নির্গত রশ্মি নির্গমনের পূর্বে জলের মধ্যে বৃহত্তম কত দূরত্ব অতিক্রম করিবে? (জলের প্রতিসরাঙ্ক = 1.3,  $\sin 50.3^\circ = 0.7692$  এবং  $\tan 50.3^\circ = 2.045$ )।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1972 ] [(i)  $22730 \text{ cm}^2$  (প্রায়), (ii)  $122.3 \text{ cm}$ ]

38. কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 এবং জলের প্রতিসরাঙ্ক 1.3। কাচ হইতে জলে পূর্ণ প্রতিফলন হইবে কি? হইলে সঙ্কট কোণ কত হইবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1970 ] [  $60^\circ$  ]

39. কাচ হইতে জলে আলোক-রশ্মি প্রবেশ করিতেছে। যদি কাচ এবং জলের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.583 এবং 1.333 হয় তাহা হইলে কাচ এবং জলের মধ্যে সঙ্কট কোণ কত? [ $\sin 57.22' = 0.8421$ ]

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983 ] [  $57.22'$  ]

40. একটি আলোক-রশ্মি হীরক হইতে কাচে প্রবেশ করিতেছে। হীরক এবং কাচের বিভেদতলে ন্যূনতম কী কোণে আলোক-রশ্মিটি আপতিত হইলে উহা কাচে প্রবেশ করিতে পারিবে না? কাচ এবং হীরকের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.51 এবং 2.47।

[ আই. আই. টি. অ্যার্ডমিশন টেস্ট, 1977 ] [  $37.42'$  ]

41. একটি পাতের তলদেশে একটি দাগ আছে। ঐ পাত্রে 1.4 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট কোন তরল ঢালা হইল। তরলের গভীরতা 3.5 cm হইলে উপর হইতে দেখিলে দাগটি কতটা উপরে উঠিয়াছে বলিয়া মনে হইবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983 ] [ 1 cm ]

42. একটি  $60^\circ$  কোণবিশিষ্ট প্রিজ্মে একটি আলোক-রশ্মি  $45^\circ$  কোণে আপতিত হইলে প্রিজ্ম হইতে উহার নির্গমন কোণ কত হইবে? দেওয়া আছে যে, প্রিজ্মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক =  $\sqrt{2}$ ।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1979 ] [  $45^\circ$  ]

43. একটি প্রিজ্মের প্রতিসারক কোণ  $50^\circ$ । উহার মধ্য দিয়া বাইবার সময় একটি আলোক-রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ  $40^\circ$  হইলে প্রিজ্মটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত?

[ 1.532 ]

44. একটি আলোক-রশ্মি 1.62 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট (বায়ুর সাপেক্ষে) কাচের একটি বস্তু পাতের উপর আপতিত হইল। যদি প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত রশ্মি পরস্পর লম্বভাবে থাকে তাহা হইলে আপতন কোণের মান নির্ণয় কর। [ $\tan 58.24' = 1.62$ ]

[ আই. আই. টি. অ্যার্ডমিশন টেস্ট, 1963 ] [  $58.24'$  ]

45. একটি আলোক-রশ্মি একটি কাচের পাতের উপর  $60^\circ$  কোণে আপতিত হইল। দেখা গেল যে, ইহার প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত অংশ পরস্পরের সহিত  $90^\circ$  কোণে আনত। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কত? [ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাডমিশন টেস্ট, 1963] [ $\sqrt{3}$ ]

### জটিলতর গাণিতিক প্রশ্নাবলী

46. একটি আলোক-রশ্মি সমান্তরাল পৃষ্ঠাবিশিষ্ট কাচের ফলকে আপতিত হইল এবং বিপরীত পৃষ্ঠ হইতে আপতিত আলোর অভিমুখের সমান্তরালভাবে বাহির হইয়া আসিল। যদি আপতন কোণ  $i$  ক্ষুদ্র হয় তাহা হইলে দেখাও যে, আলোক-রশ্মির পান্থ'সরণ  $x$  নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় :

$$x = \frac{ti(\mu - 1)}{\mu}$$

এখানে  $t$  হইল কাচের ফলকটির বেধ, এবং  $\mu$  হইল কাচের প্রতিসরাঙ্ক।

[সমাধানের সংক্ষেপ : আলোক-রশ্মির পান্থ'সরণ,

$$x = t \left[ \sin i - \frac{\cos i \sin r}{\cos r} \right]$$

19 নং প্রশ্নের সংক্ষেপে দ্রষ্টব্য (104 পৃষ্ঠা)।

$i$  ক্ষুদ্র হইলে,  $\sin i = i$ ,  $\cos i = 1$ ,  $\cos r = 1$

$$\text{এবং } \sin r = \frac{\sin i}{\mu} = \frac{i}{\mu} \text{ হইবে।}$$

$$\text{কাজেই, } x = t \left[ i - \frac{i}{\mu} \right] = \frac{t i (\mu - 1)}{\mu}$$

47.  $\frac{5}{8}$  প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট একটি তরল দ্বারা পূর্ণ একটি পাতের তলদেশে একটি বিন্দু উৎস S রহিয়াছে। এক ব্যক্তি তরল-তলের উপর হইতে উৎসটিকে দেখিতেছে। তরলের উপর 1 cm ব্যাসার্ধের একটি চাকতি ভাসিতেছে। চাকতিটির কেন্দ্র এবং আলোক-উৎসটি একই উল্লম্ব রেখার উপর অবস্থিত। পাতের সহিত যুক্ত ট্যাপের সাহায্যে ধীরে ধীরে উহা হইতে তরল বাহির করিয়া লইলে, তরলের সর্বোচ্চ কোন্ উচ্চতার জন্য উপর হইতে উৎসকে দেখা যাইবে না? [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1970] [ $\frac{5}{8}$  cm]

48. A প্রতিসারক কোণ-বিশিষ্ট একটি প্রিজমের উপর আলোক-রশ্মি প্রতিসারক তল বেষ্মিয়া আপতিত হইল এবং অভিলম্বের সহিত  $\theta$  কোণ করিয়া নিস্কান্ত হইল। দেখাও যে, প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu = \left[ 1 + \left( \frac{\cos A + \cos \theta}{\sin A} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad [\text{ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাডমিশন টেস্ট, 1966}]$$

49. একটি ক্ষুদ্র মুদ্রার উপর 1.5 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট কাচের তৈরী এবং 10 cm বেধবিশিষ্ট একটি আয়তাকার ব্লক স্থাপন করা হইল। 10 cm উচ্চতা পর্যন্ত জল (প্রতিসরাঙ্ক  $= \frac{4}{3}$ ) দ্বারা পূর্ণ একটি বীকারকে কাচের ব্লকটির উপর স্থাপন করা হইল। (i) প্রায় লম্বভাবে দৃষ্টিক্ষেপ করিলে মুদ্রাটির আপাত অবস্থান কোথায় হইবে? একটি পরিষ্কার রশ্মিচক্র আঁক। (ii) যদি লম্বাভিমুখ হইতে চোখকে পার্শ্বের দিকে সরান হয় তাহা হইলে একটি অবস্থানে

আভাস্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের দরুন মুদ্রাটি অদৃশ্য হইয়া যায়। ইহা কোন্ বিভেদতলে ঘটে এবং কেন ?  
[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1975]

[জলের উপরিভল হইতে 14-16 cm নিচে, জল ও বায়ুর বিভেদতলে]

50. 1 m বক্রতা-ব্যাসাধ'বিশিষ্ট একটি অবতল দর্পণকে একটি জলের ট্যাঙ্কের তলার স্থাপন করা হইল। সূর্য যখন ঠিক মধ্য গগনে তখন এই দর্পণ সূর্যের প্রতিবিম্ব গঠন করিল। ট্যাঙ্কের জলের উচ্চতা 80 cm এবং 40 cm হইলে দর্পণ হইতে সূর্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব নির্ণয় কর। ধরিয়া লও যে, জলের প্রতিসরাঙ্ক =  $\frac{4}{3}$ ।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1968] [50 cm, 47.5 cm]

51. একটি আলোক-রশ্মি  $\mu$  প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট উপাদানের তৈয়ারী একটি গোলকের মধ্য দিয়া এমনভাবে প্রতিসৃত হইল যে, উহা পরস্পর  $\theta$ -কোণে আনত দুইটি ব্যাসাধের প্রান্ত দিয়া গেল। গোলকের মধ্য দিয়া যাইবার ফলে রশ্মির বিচ্যুতি  $\delta$  হইলে প্রমাণ কর যে,

$$\cos \frac{\theta}{2} (\theta - \delta) = \mu \cos \frac{\theta}{2}$$

52. 1.5 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট এবং  $75^\circ$  কোণবিশিষ্ট একটি প্রিজ্‌মের একটি পৃষ্ঠ  $3\sqrt{2}/4$  প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট তরলে আবৃত। প্রিজ্‌মের অপর পৃষ্ঠে আলোর আপতন কোণ কত হইলে উহা তরলে আবৃত পৃষ্ঠ হইতে ক্রান্তিক অবস্থায় পূর্ণ প্রতিফলিত হইবে ?

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1982] [ $48^\circ 35'$ ]

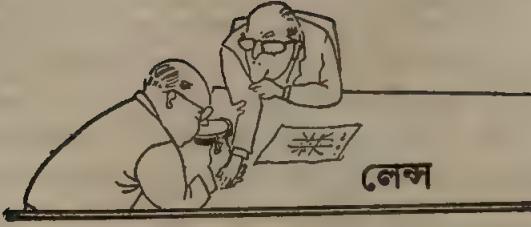
53.  $60^\circ$  প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া একটি আলোক-রশ্মি এমনভাবে প্রতিসৃত হইল যাহাতে নিক্রমণ কোণ আপতন কোণের দ্বিগুণ হয়। যদি রশ্মিটির বিচ্যুতি  $30^\circ$  হয় তাহা হইলে প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [1.38]

54.  $a$  ব্যাসাধ'বিশিষ্ট একটি অর্ধ-গোলকাকার শূন্য বেসিনের তলদেশে একটি মুদ্রা রাখা হইল। মুদ্রাটি বেসিনের ধার হইতে দৃষ্ট নিক্ষেপকারী চোখের দৃষ্টিরেখার ঠিক নিচে থাকে। যখন বেসিনটিকে একটি তরল দ্বারা পূর্ণ করা হইল তখন সম্পূর্ণ মুদ্রাটি ঐ স্থানে রক্ষিত চোখের দৃষ্টিরেখার ঠিক উপরে উঠিয়া আসিল। দেখাও যে, যদি মুদ্রাটির ব্যাসাধ'  $x$  হয় তাহা হইলে

$$x = a \cdot \frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 1}$$

এখানে  $\mu$  হইল তরলটির প্রতিসরাঙ্ক।





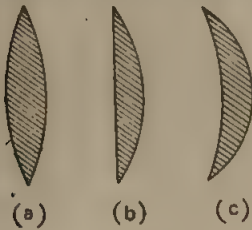
*Walk boldly and wisely in the light thou hast ; there is a hand above will help thee on.*  
—Barton

### 5.1 লেন্স

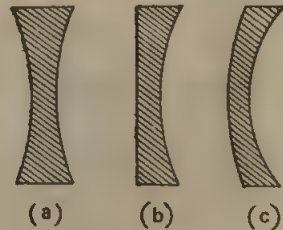
কোন স্বচ্ছ মাধ্যমের কিছু অংশ যদি নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকারের দুইটি তল দ্বারা সীমাবদ্ধ হয় তাহাকে লেন্স বলে। এই তল দুইটি গোলাীয় (spherical) বা বেলনাকার (cylindrical) বা সমতল হইতে পারে। তবে গোলাীয় তল দ্বারা গঠিত লেন্সের ব্যবহারই বেশি। আমরা আমাদের আলোচনা ঐরূপ লেন্সের ক্ষেত্রেই সীমাবদ্ধ রাখিব। লেন্স প্রধানত দুই প্রকার—(i) অভিসারী (convergent) লেন্স ও (ii) অপসারী (divergent) লেন্স।

অভিসারী লেন্সের মাঝের অংশ মোটা এবং প্রান্তদ্বয় ক্ষীণতর হয়। ইহাদের উত্তল লেন্স (convex lens) বলা হয়। উত্তল লেন্স আবার তিন প্রকার। যথা—

(a) উভ্যন্তল লেন্স [ চিত্র 5.1 (a) ]—ইহার দুই পৃষ্ঠই উত্তল। (b) সমোত্তল লেন্স [ চিত্র 5.1 (b) ]—ইহার এক পৃষ্ঠ উত্তল, অপর পৃষ্ঠ সমতল। (c) অবতলোত্তল লেন্স [ চিত্র 5.1 (c) ]—ইহার একপার্শ্বে অবতল পৃষ্ঠ এবং অপর পার্শ্বে উত্তল পৃষ্ঠ।



(a) (b) (c)



(a) (b) (c)

চিত্র 5.1 (a) উভ্যন্তল লেন্স, (b) সমোত্তল লেন্স, (c) অবতলোত্তল লেন্স

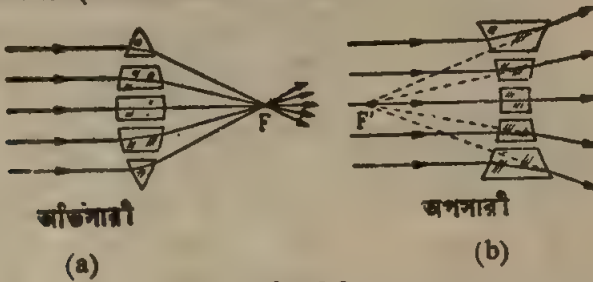
চিত্র 5.2 (a) উভাবতল লেন্স, (b) সমাবতল লেন্স, (c) উত্তলাবতল লেন্স

অপসারী লেন্সের মাঝের অংশ সরু এবং প্রান্তের দিক ক্রমশ মোটা হইয়া গিয়াছে। ইহাদের অবতল লেন্সও (concave lens) বলা হয়। উত্তল লেন্সের মত অবতল লেন্সও তিন প্রকার। যথা—(i) উভাবতল, (ii) সমাবতল ও (iii) উত্তলাবতল [ চিত্র 5.2 (a, b, c) ]। চিত্র হইতেই ইহাদের নামের তাৎপর্য বুঝা যাইতেছে।

## 5.2 লেন্স-কর্তৃক আলোক প্রতিসরণ

কোন লেন্সের উপর একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক-রশ্মি আপতিত হইলে লেন্স-কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া ইহার অপসারী হইবে নাকি অভিসারী হইবে তাহা লেন্সের প্রকৃতি ও উহার দুই পার্শ্বের মাধ্যমের সাপেক্ষে লেন্সটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে। লক্ষণীয় যে, প্রতিটি লেন্সকে কতকগুলি প্রিজমের বা প্রিজমাংশের (truncated prisms) সমষ্টিরূপে কল্পনা করা যায়। এইরূপ কল্পনা করিলে লেন্স-কর্তৃক আলোক-রশ্মির অভিসরণ ও অপসরণ সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়।

5.3(a) নং চিত্র হইতে দেখা যাইতেছে যে, উত্তল লেন্সকে যে-প্রিজমাংশ বা প্রিজম-গুলির সমষ্টিরূপে কল্পনা করা যায় উহাদের ভূমিগুলি (bases) লেন্সের কেন্দ্রের দিকে। আবার, অবতল লেন্সকে যে-প্রিজমাংশ বা প্রিজমগুলির সমষ্টিরূপে কল্পনা করা যায় উহাদের ভূমিগুলি থাকে লেন্সের কেন্দ্রের বিপরীত দিকে। আমরা জানি যে, কোন প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক উহার চতুর্পার্শ্বের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা বড় হইলে ঐ প্রিজমে আপতিত আলো প্রতিসরণের ফলে ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায় [চিত্র 5.3(b)]। প্রিজম-কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া কোন আলোক-রশ্মি কতটা বাঁকিবে তাহা নির্ভর করে ঐ প্রিজমের প্রতিসারক কোণের উপর।

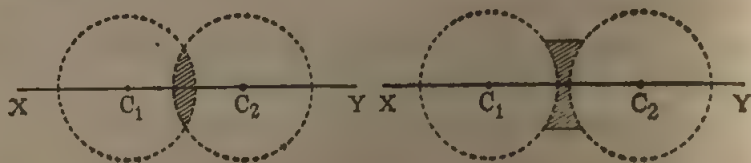


চিত্র 5.3

যে-প্রিজমাংশটি লেন্সের অক্ষ হইতে যত দূরবর্তী উহার প্রতিসারক কোণ তত বড়। কাজেই, আলোক-রশ্মি লেন্সের অক্ষ হইতে যত দূরে আপতিত হয়, আলোক-রশ্মি তত বেশি বাঁকিয়া যায়। লেন্সের মধ্যবর্তী অংশের প্রতিসারক কোণ খুব কম বলিয়া প্রতিসরণের ফলে ঐ অংশে আপতিত আলোর বিশেষ দিক-বিচ্ছাতি ঘটে না। লক্ষণীয় যে, উত্তল লেন্সের উপর আপতিত সমান্তরাল রশ্মিগুলি উল্লেখিত প্রিজমাংশগুলির দ্বারা প্রতিসৃত হইয়া উহাদের ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায়। ইহাতে আপতিত সমান্তরাল রশ্মি-গুচ্ছ অভিসারী গুচ্ছে পরিণত হয় (চিত্র 5.3a)। এই অভিসারী গুচ্ছ F বিন্দুতে গিয়া মিলিত হইবে। অনুরূপভাবে, অবতল লেন্সের উপর আপতিত রশ্মিগুলি প্রিজমের তুল্য বিভিন্ন অংশ হইতে প্রতিসৃত হইয়া ঐ সকল প্রিজমের ভূমির দিকে বাঁকিয়া গিয়া একটি অপসারী গুচ্ছ সৃষ্টি করে (চিত্র 5.3b)। এই অপসারী গুচ্ছ একটি বিন্দু F' হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে।

### 5.3 লেন্স-সম্বন্ধীয় কয়েকটি সংজ্ঞা

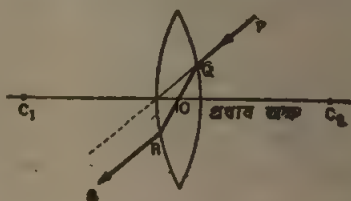
(1) বক্রতা-কেন্দ্র : লেন্সের কোন তল যদি গোলায় হয় তবে উহার কেন্দ্রে ঐ তলের বক্রতা-কেন্দ্র বলা হয়। 5.4 নং চিত্রে  $C_1$  এবং  $C_2$  লেন্সের দুইটি তলের বক্রতা-কেন্দ্র।



চিত্র 5.4

(2) প্রধান অক্ষ : কোন লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্রের সংযোগকারী সরল-রেখাকে বলা হয় প্রধান অক্ষ। চিত্রে  $C_1$  এবং  $C_2$  বিন্দুদ্বয়ের মধ্য দিয়া অঙ্কিত XY-রেখাই লেন্সের প্রধান অক্ষ।

(3) আলোক-কেন্দ্র (Optical centre) : যদি কোন আলোক-রশ্মি কোন লেন্সের এক পৃষ্ঠে আপতিত হইয়া প্রতিসৃত হইবার পর আপতিত রশ্মির সমান্তরাল-



চিত্র 5.5

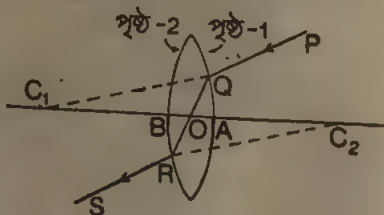
ভাবে নির্গত হয় তবে ঐ আলোক-রশ্মি প্রধান অক্ষের একটি নির্দিষ্ট বিন্দু দিয়া যাইবে। প্রধান অক্ষস্থিত ঐ নির্দিষ্ট বিন্দুটিকে আলোক-কেন্দ্র বলা হয়।

PQ আলোক রশ্মি লেন্সের Q-বিন্দুতে আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর লেন্সের মধ্য দিয়া QR-পথে অগ্রসর হইয়াছে এবং পরিশেষে RS-পথে লেন্স হইতে নির্গত

হইয়াছে (চিত্র 5.5)। PQ ও RS পরস্পর সমান্তরাল হইলে উপরি-উক্ত সংজ্ঞানুসারে QR-রেখাটি প্রধান অক্ষকে যে-বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে তাহাই লেন্সের আলোক-কেন্দ্র। চিত্রে আলোক-কেন্দ্রকে O-অক্ষের দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।

আলোক-কেন্দ্র লেন্সের অক্ষের উপর বিদ্যমান একটি নির্দিষ্ট বিন্দু। লেন্সের দুই পৃষ্ঠ হইতে ইহার দূরত্ব পৃষ্ঠ দুইটির বক্রতা-ব্যাসার্ধের উপর নির্ভর করে।

মনে করি,  $C_1$  এবং  $C_2$  যথাক্রমে লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠ এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্র। PQ রশ্মিটি প্রথম পৃষ্ঠের Q বিন্দুতে আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর আলোক-কেন্দ্র O-এর মধ্য দিয়া গিয়া দ্বিতীয় পৃষ্ঠের R বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে এবং ঐ বিন্দু হইতে প্রতিসরণের পর PQ-এর সমান্তরালভাবে RS পথে অগ্রসর হইয়াছে।  $C_1$ -এর সহিত Q-বিন্দু এবং  $C_2$ -এর সহিত R-বিন্দু যুক্ত করা



চিত্র 5.6

হইল (চিত্র 5.6)। স্পর্শকতই,  $C_1Q$  রেখাটি লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের উপর লম্ব।  $C_2R$  রেখাটি লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের উপর লম্ব। লেন্সের প্রধান অক্ষ লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠকে যে-বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে তাহাতে A দ্বারা এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠকে যে-বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে তাহাকে B দ্বারা সূচিত-করা হইল।

আমরা জানি যে, সমান্তরাল ফলকের উপর কোন রশ্মি আপতিত হইলে উহা আপতিত রশ্মির সমান্তরালভাবে নিষ্কাশিত হয়। এখন, আমরা ধরিয়া লইয়াছি যে, PQ রশ্মি এবং RS রশ্মি পরস্পর সমান্তরাল। কাজেই, Q বিন্দুতে লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের অতি ক্ষুদ্র অংশ এবং R বিন্দুতে লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের অতি ক্ষুদ্র অংশ পরস্পরের সমান্তরাল হইবে, কেননা তাহা না হইলে আপতিত রশ্মি PQ এবং নিষ্কাশিত রশ্মি RS সমান্তরাল হইতে পারে না। আবার, Q বিন্দুতে এবং R বিন্দুতে লেন্সের পৃষ্ঠের অতি ক্ষুদ্র অংশ পরস্পর সমান্তরাল বলিয়া  $C_1Q$  এবং  $C_2R$  পরস্পর সমান্তরাল হইবে, কারণ  $C_1Q$  ব্যাসার্ধ Q বিন্দুতে লেন্সের পৃষ্ঠের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত এবং  $C_2R$  ব্যাসার্ধ R বিন্দুতে লেন্সের পৃষ্ঠের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত।

$C_1Q$  এবং  $C_2R$  সরলরেখাধর পরস্পর সমান্তরাল বলিয়া লেখা যায়,

$$\angle C_1QR = \angle C_2RQ$$

আবার,  $\angle C_1OQ = \angle C_2OR$  (বিপ্রতীপ কোণ বলিয়া)

কাজেই,  $\triangle C_1OQ$  এবং  $\triangle C_2OR$  ত্রিভুজদ্বয় সদৃশকোণী।

$$\therefore \frac{C_1O}{C_2O} = \frac{C_1Q}{C_2R} = \frac{r_1}{r_2} \quad \dots \quad (5.1)$$

এখানে  $r_1$  এবং  $r_2$  হইল যথাক্রমে লেন্সের প্রথম এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ। একটি নির্দিষ্ট লেন্সের ক্ষেত্রে  $r_1$  এবং  $r_2$ -এর মান নির্দিষ্ট বলিয়া ইহাদের অনুপাতও নির্দিষ্ট। কাজেই লেখা যায়,

$$\frac{C_1O}{C_2O} = \text{একটি ধ্রুবক}$$

ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, কোন লেন্সের আলোক-কেন্দ্র উহার প্রধান অক্ষস্থিত একটি নির্দিষ্ট বিন্দু।

লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠ হইতে আলোক-কেন্দ্রের দূরত্ব (OA) এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠ হইতে আলোক-কেন্দ্রের দূরত্ব (OB)-এর মানও সহজেই নির্ধারণ করা যায়। নিচে তাহা দেখান হইল।

$C_1$  বিন্দুটি AQ পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্র বলিয়া লেখা যায়,

$$C_1Q = C_1A \quad \dots \quad (i)$$

আবার,  $C_2$  বিন্দুটি BR পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্র বলিয়া লেখা যায়,

$$C_2R = C_2B \quad \dots \quad (ii)$$

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ ব্যবহার করিয়া সমীকরণ (5.1) হইতে পাই,

$$\frac{C_1O}{C_2O} = \frac{C_1Q}{C_2R} = \frac{C_1A}{C_2B} = \frac{r_1}{r_2} \quad \dots \quad (iii)$$



এখন,  $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{c-a}{d-b}$  বলিয়া (iii) নং সমীকরণ হইতে পাই,

$$\frac{C_1 A - C_1 O}{C_2 B - C_2 O} = \frac{r_1}{r_2}$$

$$\text{বা, } \frac{OA}{OB} = \frac{r_1}{r_2}$$

$$\therefore \frac{OA}{OA + OB} = \frac{r_1}{r_1 + r_2}$$

$$\text{বা, } \frac{OA}{t} = \frac{r_1}{r_1 + r_2} \quad [t = \text{প্রধান অক্ষ বরাবর লেন্সের বেধ}]$$

অর্থাৎ, প্রথম পৃষ্ঠ হইতে আলোক-কেন্দ্রের দূরত্ব

$$OA = \frac{r_1}{r_1 + r_2} \times \text{লেন্সের বেধ } (t) \quad \dots (5.2)$$

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় পৃষ্ঠ হইতে আলোক-কেন্দ্রের দূরত্ব

$$OB = \frac{r_2}{r_1 + r_2} \times \text{লেন্সের বেধ } (t) \quad \dots (5.3)$$

লক্ষণীয় যে,  $r_1 = r_2$  হইলে  $OA$  এবং  $OB$ —উভয়েই  $t/2$ -এর সমান হইবে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে আলোক-কেন্দ্রটি প্রধান অক্ষ বরাবর লেন্সের ঠিক মধ্যবিন্দুতে অবস্থিত হইবে।

সমোত্তল লেন্স (plano-convex) লেন্সের ক্ষেত্রে  $r_1$  এবং  $r_2$ -এর মধ্যে যে-কোন একটি অসীম হইবে।  $r_1$  অসীম হইলে লেখা যায়,

$$OB = 0$$

$$\text{এবং } OA = t$$

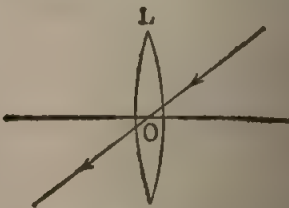
অর্থাৎ, এক্ষেত্রে আলোক-কেন্দ্র  $O$  বক্রতলের উপর অবস্থিত হইবে।

$r_2$  অসীম হইলে লেখা যায়,

$$OA = 0$$

$$\text{এবং } OB = t$$

এক্ষেত্রেও আলোক-কেন্দ্র  $O$  লেন্সের বক্রতলের উপর অবস্থিত হইবে।



চিত্র 5.7

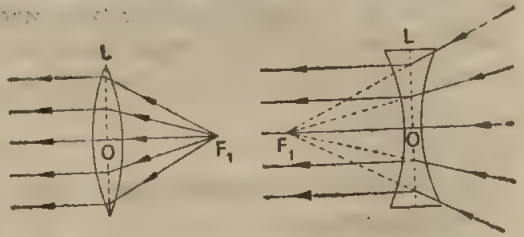
নির্গত হইবে (চিত্র 5.7)। জ্যামিতিক পদ্ধতিতে লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিতে আলোক-কেন্দ্রের এই ধর্মটি কাজে লাগান হয়।

এক্ষেত্রে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, লেন্সের বেধ (thickness) যদি খুব কম হয়, অর্থাৎ লেন্স যদি খুব পাতলা হয় তবে আপতিত রশ্মিটির পার্শ্বসরণ (lateral displacement) উপেক্ষা করা যায়। সেক্ষেত্রে বলা যায় যে, লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া কোন রশ্মি অগ্রসর হইলে উহার কোন বিচ্যুতি হইবে না—রশ্মিটি সরাসরি একই পথে অগ্রসর হইয়া লেন্স হইতে

(4) কণীণবেধ লেন্স (Thin lens) : প্রধান অক্ষ বরাবর কোন লেন্সের দুই সীমান্তের দূরত্ব যদি ঐ দুই তলের বক্রতা-কেন্দ্রের দূরত্বের তুলনায় উপেক্ষণীয় তবে ঐরূপ লেন্সকে কণীণবেধ লেন্স বলা যায়। আমরা কেবলমাত্র ঐরূপ লেন্সেরই আলোচনা করিব।

চিত্রের সাহায্যে লেন্সের প্রতিসরণ দেখাইবার সময় লেন্সের প্রধান ছেদ আঁকা হয়। লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া সমতল টানিলে লেন্সের যে-ছেদ পাওয়া যায় তাহাই উহার প্রধান ছেদ। কণীণবেধ লেন্সের দুই তলের প্রতিসরণ আলাদাভাবে দেখান হয় না, মোট প্রতিসরণ দেখান হয় মাত্র। সাধারণত লেন্সের দুই পৃষ্ঠের মাঝামাঝি একটি রেখাতেই লেন্সের মোট প্রতিসরণ দেখান হয়। এই রেখাটিকে আলোচ্য লেন্সের তুল্য আদর্শ (idea) কণীণ লেন্সটির অবস্থান বলিয়া ধরা হয়। এই রেখাটি প্রধান অক্ষের যে-বিন্দুতে ছেদ করে তাহাকে লেন্সের আলোক-কেন্দ্র বলিয়া ধরা যায়।

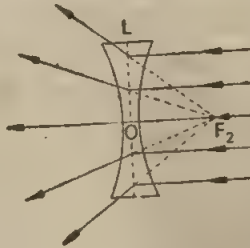
(5) মূখ্য ফোকাস ও ফোকাস-দূরত্ব : উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষে এমন একটি বিন্দু রহিয়াছে যে-বিন্দু হইতে আগত অপসারী আলোক-রশ্মিগুচ্ছ লেন্স-কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে লেন্স হইতে নিগত হয়। ঐ বিন্দুকে উত্তল লেন্সের প্রথম মূখ্য ফোকাস (First principal focus) বলা হয়। অনুরূপভাবে, অবতল লেন্সের অক্ষে এমন একটি বিন্দু আছে যাহার অভিমুখে আগত



চিত্র 5.8

অভিসারী আলোক-রশ্মিগুচ্ছ লেন্স-কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরাল ভাবে নিগত হয়। ঐ বিন্দুটিকে অবতল লেন্সের প্রথম মূখ্য ফোকাস বলে। 5.8 নং চিত্রে  $F_1$ -অক্ষের দ্বারা লেন্সের প্রথম মূখ্য ফোকাস সূচিত করা হইয়াছে।

প্রধান অক্ষের সমান্তরাল কোন রশ্মিগুচ্ছ কোন লেন্সের গায়ে আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত যে-বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয় (উত্তল

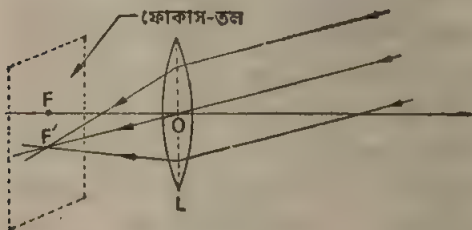


চিত্র 5.9

লেন্সের ক্ষেত্রে) কিংবা প্রধান অক্ষের যে-নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় (অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে) প্রধান অক্ষস্থিত সেই বিন্দুকে দ্বিতীয় মূখ্য ফোকাস (second

principal focus) বলে। 5.9 নং চিত্রে  $F_2$ -দ্বারা লেন্সের দ্বিতীয় মূখ্য ফোকাস সূচিত হইয়াছে। লেন্স হইতে ফোকাসের দূরত্বকে ফোকাস-দূরত্ব বলে। লেন্সের উভয় দিকের মাধ্যম এক হইলে লেন্স হইতে প্রথম ফোকাসের এবং দ্বিতীয় ফোকাসের

দূরত্ব সমান হইবে। তবে, কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব বলিতে আমরা লেন্সটির আলোক-কেন্দ্র হইতে উহার দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে বুঝি।



চিত্র 5.10

লেন্সের ফোকাস-তল বলা হয় (5.10 নং চিত্র দেখ)।

(7) গৌণ ফোকাস (Secondary focus) : যদি কোন সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত তির্যকভাবে (অর্থাৎ, একটি নির্দিষ্ট কোণে আনতভাবে) লেন্সের গায়ে আপতিত হয় তাহা হইলে প্রতিসরণের পর উহা একটি অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ পরিণত হয় এবং ফোকাস-তলে কোন একটি বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয়। এই বিন্দুকে গৌণ ফোকাস বলা হয়। 5.10 নং চিত্রে F হইল মুখ্য ফোকাস এবং F' হইল গৌণ ফোকাস।

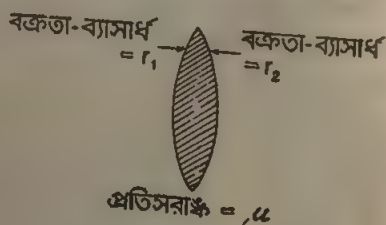
#### 5.4 লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব এবং উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক

কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ভর করে উহার দুই পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ এবং উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের উপর। দেখান যায় যে, পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের সাপেক্ষে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক  $\mu$  হইলে এবং লেন্সটির প্রথম ও দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ যথাক্রমে  $r_1$  ও  $r_2$  হইলে (চিত্র 5.11) লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব ( $f$ ) নিচের সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় :

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \dots (5.4)$$

চিত্রের রীতি অনুসারে, উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে  $r_1$  ঋণাত্মক এবং  $r_2$  ধনাত্মক। কাজেই, এক্ষেত্রে,  $f$ -এর মান ঋণাত্মক। আবার, উত্তাবতল লেন্সের ক্ষেত্রে  $r_1$  ধনাত্মক এবং  $r_2$  ঋণাত্মক। কাজেই সেক্ষেত্রে  $f$ -এর মান ধনাত্মক।

লেন্স নির্মাণে 5.4 নং সমীকরণটি ব্যবহৃত হয় বলিয়া এই সমীকরণকে লেন্স-নির্মাণের ফর্মুলা (Lens-maker's formula) বলা হয়।



চিত্র 5.11

5.4 নং সমীকরণ হইতে বুঝা যাইতেছে যে,  $\mu$ -এর মান কমিলে  $\frac{1}{f}$ -এর মান কমিবে,

এবং  $f$ -এর মান বাড়বে। আবার,  $\mu$ -এর মান বাড়লে  $\frac{1}{f}$ -এর মান বাড়বে এবং  $f$ -এর মান কমবে।

একটি কাচের লেন্সকে জলে নিমজ্জিত করিলে উহার ফোকাস-দূরত্বের কীরূপ পরিবর্তন হইবে? বায়ুর সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্কের তুলনায় জলের সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক অনেক কম। অর্থাৎ, কাচের লেন্সকে জলে নিমজ্জিত করিলে  $\mu$ -এর কার্যকরী মান কমিয়া যায়। ইহাতে  $\frac{1}{f}$ -এর মানও কমিয়া যায় (5.4 নং সমীকরণ দ্রষ্টব্য), ফলে ফোকাস-দূরত্ব  $f$ -এর মান বৃদ্ধি পায়।

একটি লেন্সকে যদি এমন একটি মাধ্যমে নিমজ্জিত করা যায় যাহার পরম-প্রতিসরাঙ্ক লেন্সটির পরম প্রতিসরাঙ্কের সমান তাহা হইলে পরিপার্শ্বের সাপেক্ষে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক হইবে 1। কাজেই, এক্ষেত্রে  $\frac{1}{f}$ -এর মান শূন্য হইবে; অর্থাৎ, ফোকাস-দূরত্ব  $f$ -এর মান অসীম ( $\infty$ ) হইবে। ইহার তাৎপৰ্য এই যে, কোন উত্তল বা অবতল লেন্সকে একই পরম প্রতিসরাঙ্কের কোন মাধ্যমে নিমজ্জিত করিলে উহার অভিসরণ-ক্ষমতা (power of convergence) বা অপসরণ-ক্ষমতা (power of divergence) লোপ পাইবে।

আমরা জানি যে, কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক নির্ভর করে আলোর বর্ণের উপর। কাজেই, সহজেই অনুমান করা যায় যে, কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্বও নির্ভর করিবে আলোর বর্ণের উপর এবং বিভিন্ন বর্ণের ক্ষেত্রে একই লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের মান বিভিন্ন হইবে।

দৃশ্য আলোর ক্ষেত্রে আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য যত বাড়়ে কাচের প্রতিসরাঙ্ক তত কমে। নীল আলো অপেক্ষা লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি। কাজেই, লাল আলোর তুলনায় নীল আলোর ক্ষেত্রে কাচের প্রতিসরাঙ্কের মান বেশি হইবে। কোন লেন্সের ক্ষেত্রে প্রতিসরাঙ্কের মান বাড়িলে ফোকাস-দূরত্ব কমে। কাজেই, নীল আলোর ক্ষেত্রে কোন কাচের লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের যে-মান পাওয়া যাইবে লাল আলোর ক্ষেত্রে ঐ লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব তদপেক্ষা বেশি হইবে। বিভিন্ন রঙের আলোর ক্ষেত্রে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব বিভিন্ন বলিয়াই লেন্সে বর্ণাভেদ (chromatic aberration) দেখা যায়। এ প্রসঙ্গে পরে বিস্তারিত আলোচনা করা হইবে।

### 5.5 লেন্স-কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন

জ্যামিতিক পদ্ধতিতে কোন লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ধারণ করিবার জন্য লেন্সের দুইটি বিশেষ ধর্ম কাজে লাগান হয়।

(1) কোন রশ্মি লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অগ্রসর হইলে রশ্মিটির বিচ্যুতি হইবে না—রশ্মিটি সরাসরি একই পথে লেন্স হইতে নিষ্কাশিত হইবে।

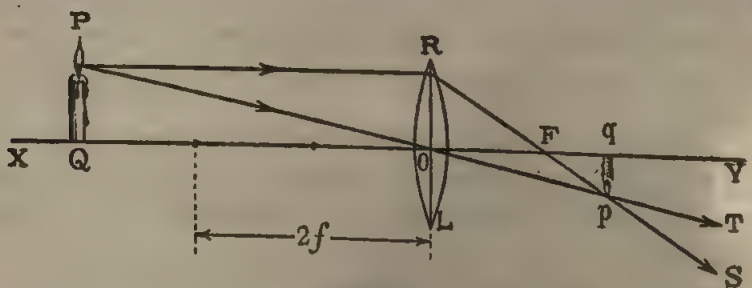
(2) কোন আলোক-রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে লেন্সের গায়ে আপতিত হইলে প্রতিসরণের পর ফোকাসের মধ্য দিয়া যায় (উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে) কিংবা ফোকাস হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয় (অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে)।



উপরি-উক্ত ধর্ম দুইটি কাজে লাগাইয়া সহজেই লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়।

● উত্তল-লেন্স-কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন :

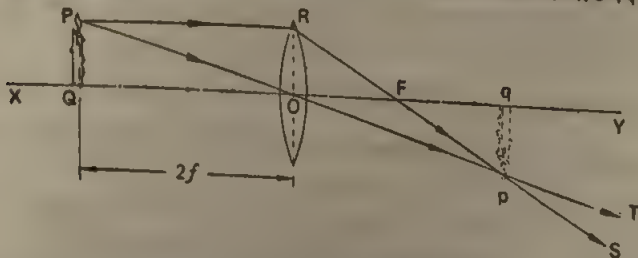
(i) বস্তু যখন অসীম ও  $2f$  দূরত্বের মাঝামাঝি অবস্থিত : মনে করি,  $L$  একটি উত্তল লেন্স।  $XOY$  ইহার প্রধান অক্ষ এবং  $O$  ইহার আলোক-কেন্দ্র।  $PQ$ -বস্তুটি প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে দণ্ডায়মান রাখা আছে (চিত্র 5.12)। বস্তুটি অসীম এবং  $2f$  দূরত্বের মাঝামাঝি অবস্থিত ( $f$  = ফোকাস-দূরত্ব)।  $P$ -বিন্দু হইতে একটি আলোক-রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে লেন্সের  $R$ -বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে এবং প্রতিসরণের পর ফোকাস  $F$ -এর মধ্য দিয়া  $RS$  পথে অগ্রসর হইয়াছে। আবার, আলোক-কেন্দ্রগামী রশ্মি  $PO$  সোজাসুজি  $OT$  পথে লেন্স হইতে বাহির হইবে। এই প্রতিসৃত রশ্মিদ্বয় পরস্পরকে  $p$ -বিন্দুতে ছেদ করিয়া ঐ বিন্দুতে  $P$ -বিন্দুর সদৃশ বিম্ব সৃষ্টি করিবে।



চিত্র 5.12

$p$ -বিন্দু হইতে অক্ষের উপর  $pq$  লম্ব টানা হইল।  $pq$ -ই  $PQ$  বস্তুটির প্রতিবিম্ব। এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটি সদৃ, অবশীর্ষ (inverted) এবং আকারে বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইবে।

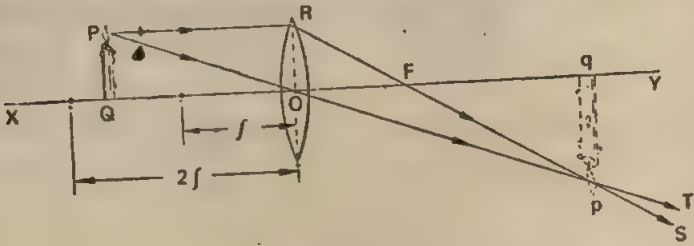
(ii) বস্তু যখন  $2f$  দূরত্বে অবস্থিত : অনুরূপভাবে, প্রধান অক্ষের সমান্তরাল একটি আলোক-রশ্মি এবং আলোক-কেন্দ্রগামী একটি আলোক-রশ্মির গতিপথ বিচার



চিত্র 5.13

করিলেই প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা যায় (চিত্র 5.13)। এখানে প্রতিবিম্বটি সদৃ, অবশীর্ষ এবং আকারে বস্তুর সমান।

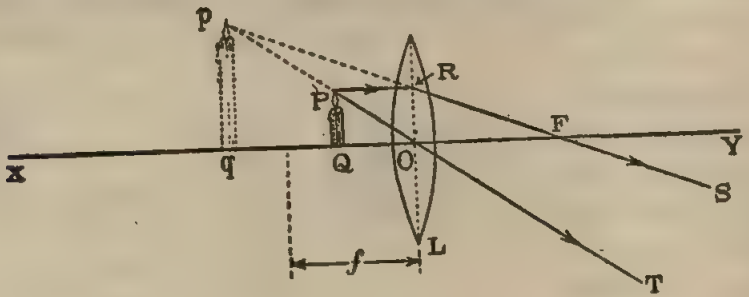
(iii) বস্তু যখন  $f$  এবং  $2f$  দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত : বস্তুটি যখন লেন্স হইতে  $f$  এবং



চিত্র 5.14

$2f$  দূরত্বের মাঝামাঝি অবস্থান করে তখন প্রতিবিম্বটি সদ্ ও অবশীর্ণ হইবে, কিন্তু এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব বস্তু অপেক্ষা বৃহদাকার হইবে (চিত্র 5.14)।

(iv) বস্তু যখন ফোকাস ও আলোক-কেন্দ্রের মাঝামাঝি অবস্থিত : PQ বস্তুটি ফোকাস F এবং আলোক-কেন্দ্র O-এর মধ্যবর্তী স্থানে অবস্থিত (চিত্র 5.15)। P-বিন্দু

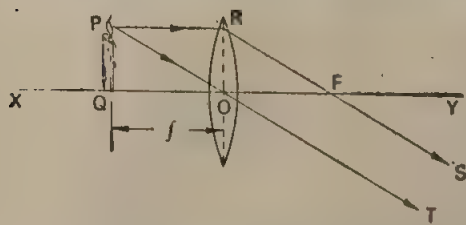


চিত্র 5.15

হইতে আলোক-কেন্দ্রগামী আলোক-রশ্মি O-এর মধ্য দিয়া সোজা OT পথে যাইবে। পুনরায় অক্ষের সাহিত সমান্তরাল PR-রশ্মি প্রতিসৃত হইবার পর ফোকাস F-এর মধ্য দিয়া RF পথে অগ্রসর হইবে। এই দুই প্রতিসৃত রশ্মি অপসারী বলিয়া উহার কোন বাস্তব বিন্দুতে মিলিত হইবে না, কিন্তু পশ্চাদ্ধিকে বর্ধিত করিলে  $p$ -বিন্দুতে গিয়া মিলিবে। অর্থাৎ, প্রতিসৃত রশ্মিযুগ্ম  $p$ -বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। ফলে  $p$ -বিন্দুতে P-বিন্দুর অসদৃশ্য গঠিত হইবে।  $p$ -বিন্দু হইতে লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর  $pq$  লম্ব টানা হইল। ইহাই PQ-বস্তুর প্রতিবিম্ব। এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটি অসদৃশ্য, সমশীর্ণ (erect) এবং বিবর্ধিত (magnified) হইবে।

(v) বস্তু যখন লেন্সের ফোকাস-দূরত্বে অবস্থিত : এখানে PQ-বস্তুর P-বিন্দু হইতে আগত PO-রশ্মি OT-পথে লেন্স হইতে সোজাসুজি বাহির হইয়া আসে (আলোক-কেন্দ্র O-এর ধর্ম অনুসারে)। অপর একটি রশ্মি PR প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে লেন্সের R-বিন্দুতে আপতিত হইয়া লেন্স-কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস F-এর মধ্য দিয়া RS পথে অগ্রসর হয়। এখানে  $PR = OF = f$ ; আবার, PR এবং OF

পরস্পর সমান্তরাল। সুতরাং, PO এবং RF পরস্পরের সমান্তরাল হইবে (চিত্র 5.16)। অতএব, RS এবং OT রশ্মিদ্বয় অসীম দূরত্বে গিয়া মিলিত হইবে। ফলে অসীম দূরত্বে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করিবে। লক্ষ্য কর যে, এক্ষেত্রে RS এবং PT রেখাকে সম্মুখের দিকে বা পশ্চাদ্গত করিতে বা উভয় ক্ষেত্রেই উহার অসীম দূরত্বে গিয়া মিলিত হইবে। সুতরাং, এই প্রতিবিম্বটিকে সদ বা অসদ দুইই বলা যাইতে

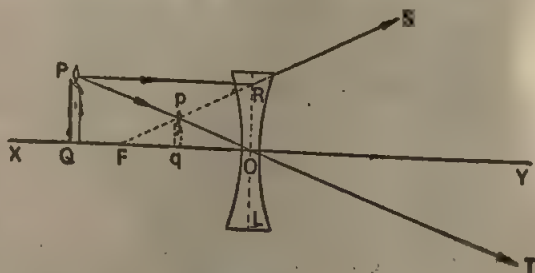


চিত্র 5.16

পারে। বস্তু-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের বেশি হইলে প্রতিবিম্ব সদ হইবে এবং ফোকাস-দূরত্বের কম হইলে প্রতিবিম্ব অসদ হইবে।

● অবতল লেন্স-কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন : মনে করি, L একটি অবতল লেন্স এবং O-বিন্দু উহার আলোক-কেন্দ্র (চিত্র 5.17)। PQ বস্তুটি লেন্সের অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত রহিয়াছে। P-বিন্দু হইতে আগত রশ্মি PR প্রধান অক্ষের সমান্তরাল পথে আসিয়া লেন্সের R-বিন্দুতে আপতিত হইল। উহা লেন্স-কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া RS-পথে নিষ্কাশিত হইবে।

আবার আলোক-কেন্দ্র-গামী রশ্মি PO সোজা-সুজি OT পথে লেন্স হইতে বাহির হইয়া আসিবে। RS এবং OT রশ্মিদ্বয় অপসারী বলিয়া উহার কোন বাস্তব বিন্দুতে মিলিত হইবে না, কিন্তু উহাদের পশ্চাদ্গত করিলে P বিন্দুতে মিলিত হইবে। অর্থাৎ, P-বিন্দু হইতে আগত আলোক-রশ্মিদ্বয়কে প্রতিসরণের পর P-বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। P হইতে অক্ষের উপর pq লম্ব টানা হইল। pq-ই PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব। এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব অসদ, সম্মার্শী ও বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রাকার হইবে (চিত্র 5.17)।



চিত্র 5.17

অরুণ রাধা প্রয়োজন যে, অবতল লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব সর্বদাই অসদ এবং বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হয়।

## 5.6 চিত্রের স্বীতি

পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে যে, দর্পণের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব, বস্তু-দূরত্ব এবং ফোকাস-দূরত্ব সেরা হইতে মাপা হয় (অনুচ্ছেদ 3.12 দ্রষ্টব্য)। লেন্সের ক্ষেত্রে এই সকল দূরত্ব মাপা হয় আলোক-কেন্দ্র হইতে। এক্ষেত্রে দূরত্বের সাহিত চিত্রের উল্লেখ

প্রয়োজন। চিহ্ন সম্বন্ধে আমরা একই রীতি অনুসরণ করিব। অর্থাৎ আমরা ধরিয়া লইব যে, আপতিত রশ্মি যেদিকে ঘাইতেছে উহার বিপরীত দিকে যে-সব দূরত্ব মাপা হয় উহারা ধনাত্মক এবং আপতিত রশ্মির গতিমুখের দিকে যে-সব দূরত্ব মাপা হয় উহারা ঋণাত্মক।

সুতরাং, উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব ঋণাত্মক এবং অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব ধনাত্মক।

## 5.7 লেন্সের সাধারণ সূত্র

### (1) উত্তল লেন্স

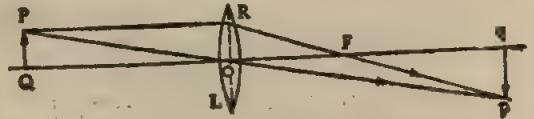
সদ্বিবম্ব : মনে করি, PQ বস্তুটি L-লেন্সের অক্ষের উপর খাড়াভাবে অবস্থিত। O-বিন্দুটি লেন্সের আলোক-কেন্দ্র। আলোক-কেন্দ্র হইতে বস্তু-দূরত্ব যদি ফোকাস-দূরত্বের বেশি হয় তবে লেন্স-কর্তৃক বস্তুর সদ্বিবম্ব গঠিত হইবে। প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়ের জ্যামিতিক পদ্ধতি পূর্বেই আলোচিত হইয়াছে। 5.18 নং চিত্রে pq রেখাটি PQ-বস্তুর প্রতিবিম্ব; এখানে  $\triangle POQ$  এবং  $\triangle pOq$  সদৃশ বলিয়া,

$$PQ/pq = OQ/Oq \quad \dots (i)$$

আবার,  $\triangle pqF$  এবং  $\triangle ROF$  সদৃশ বলিয়া

$$pq/RO = qF/FO$$

$$\dots (ii)$$



চিত্র 5.18

সুতরাং,  $\frac{PQ}{pq} \times \frac{pq}{RO} = \frac{OQ}{Oq} \times \frac{qF}{FO}$  [(i) ও (ii) হইতে]

কিন্তু,  $PQ=RO \therefore 1 = \frac{OQ}{Oq} \times \frac{qF}{FO}$  ... (iii)

এখন,  $OQ=u$ ,  $Oq=v$  এবং  $FO=f$

সঠিক চিহ্নের উল্লেখ করিয়া লিখিতে পারি যে,

$$OQ=u, Oq=-v \text{ এবং } FO=-f$$

( চিহ্নের রীতি অনুসারে )

$$qF=Oq-OF=(-v)-(-f)=(f-v)$$

সুতরাং, সমীকরণ (iii) হইতে,

$$1 = \frac{u(f-v)}{(-v)(-f)} = \frac{u(f-v)}{vf} \text{ বা, } vf=uf-uv$$

উভয় পক্ষকে  $uvf$  দ্বারা ভাগ করিয়া পাই,

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{v} - \frac{1}{f} \text{ বা, } \left[ \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \right] \quad \dots (5.5)$$

অসদ্বিবম্ব : PQ-বস্তুটি যদি ফোকাস এবং আলোক-কেন্দ্রের মাঝামাঝি থাকে



তবে লেন্স-কর্তৃক বস্তুর অসদৃশ্য গঠিত হইবে। 5.19 নং চিত্রে  $pq$  অবস্থানে  $PO$  বস্তুর অসদৃশ্য গঠিত হইয়াছে।  $\triangle POQ$  এবং  $\triangle pOq$  ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ বলিয়া লেখা যায়,

$$pq/PQ = Oq/OQ \quad \dots (i)$$

অনুরূপভাবে,  $\triangle pFq$  এবং  $\triangle RFO$  ত্রিভুজ দুইটি হইতে লিখিতে পারি,

$$\dots (ii)$$

চিত্র 5.19

$$pq/RO = qF/OF$$

সমীকরণ (i) ও (ii) হইতে,  $\frac{pq}{PQ} \times \frac{RO}{pq} = \frac{Oq}{OQ} \times \frac{OF}{qF}$

কিন্তু  $PQ = RO$  বলিয়া লেখা যায়,

$$\frac{Oq}{OQ} \times \frac{OF}{qF} = 1 \quad \dots (iii)$$

চিহ্নের রীতি অনুসারে,  $Oq = v$ ,  $OQ = u$ ,  $OF = -f$

$$qF = Oq + OF = v + (-f) = (v - f)$$

সুতরাং, সমীকরণ (iii) হইতে পাই,  $\frac{v}{u} \times \frac{(-f)}{v - f} = 1$

$$\text{বা, } uv - uf = -vf \quad \text{বা, } uf - vf = uv$$

উভয় পক্ষকে  $uvf$  দ্বারা ভাগ করিয়া পাই,

$$\boxed{\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}} \quad \dots (5.6)$$

## (2) অবতল লেন্স

পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে যে, অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব সর্বদাই অসদৃশ্য হইবে। জ্যামিতিক উপায়ে উহার অবস্থান নির্ণয়ের পদ্ধতি আলোচিত হইয়াছে। ধরা যাক,  $L$  একটি অবতল লেন্স,  $O$ -বিন্দুটি উহার আলোক-কেন্দ্র।  $pq$ -রেখাটি  $PQ$ -বস্তুর প্রতিবিম্ব (চিত্র 5.20)।

$\triangle POQ$  এবং  $\triangle pOq$  ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ বলিয়া,

$$PQ/pq = OQ/Oq \quad \dots (i)$$

আবার,  $\triangle ROF$  এবং  $\triangle pqF$  ত্রিভুজ

দুইটি হইতে পাই,

$$pq/RO = Fq/FO \quad \dots (ii)$$

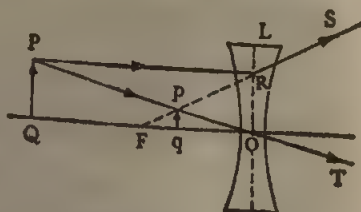
কিন্তু,  $PQ = RO$  বলিয়া (i) এবং (ii)

হইতে পাই,

$$\frac{OQ}{Oq} \times \frac{Fq}{FO} = 1 \quad \dots (iii)$$

চিহ্নের রীতি-অনুসারে লেখা যায়,

$$QO = u, Oq = v, FO = f$$



চিত্র 5.20

$$\therefore Fq = FO - Oq = (f - v)$$

সমীকরণ (iii)-এ এই মানগুলি বসাইয়া লেখা যায়,

$$\frac{u}{v} \times \frac{f-v}{f} = 1 \quad [ \text{সমীকরণ (iii) হইতে} ]$$

$$\text{বা, } uf - uv = vf \quad \text{বা, } uf - vf = uv$$

উভয় পক্ষকে  $uvf$  দ্বারা ভাগ করিয়া পাই,

$$\boxed{\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}} \quad \dots \quad (5.7)$$

### 5.8 টেন্ডিক বিবর্ধন (Linear magnification)

প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য এবং বস্তুর দৈর্ঘ্যের অনুপাতকে রৈখিক বিবর্ধন বলে।

$$\text{অর্থাৎ, রৈখিক বিবর্ধন } m = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য}}$$

$$5.17 \text{ ও } 5.18 \text{ নং চিত্র হইতে পাই, } m = \frac{pq}{PQ} = \frac{Oq}{QO} = \frac{v}{u}$$

$$\text{সুতরাং, রৈখিক বিবর্ধন} = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দূরত্ব}}{\text{বস্তুর দূরত্ব}} \quad \dots \quad (5.8)$$

উত্তল লেন্স-কর্তৃক সদ্বিষ গঠিত হইলে  $u$  ধনাত্মক, কিন্তু  $v$  ঋণাত্মক। এই সময় প্রতিবিম্ব অবশীর্ষ (inverted) হয়।  $v$  ঋণাত্মক বলিয়া এক্ষেত্রে  $m$ -এর মান ঋণাত্মক হইবে। অর্থাৎ,  $m$  ঋণাত্মক হইলে প্রতিবিম্ব সদ ও অবশীর্ষ হইবে।

অবতল লেন্সের প্রতিবিম্ব সর্বদাই অসদ এবং সমশীর্ষ (erect) থাকে। এক্ষেত্রে  $u$  এবং  $v$  উভয়েই ঋণাত্মক। সুতরাং, অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে  $m$  সর্বদা ধনাত্মক হইবে।

### 5.9 লেন্সের সূত্র হইতে প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয়

বস্তুকে লেন্স হইতে বিভিন্ন দূরত্বে রাখিলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, আকার ও প্রকৃতি কীৰূপ হইবে জ্যামিতিক উপায়ে তাহা নির্ণয় করিবার পদ্ধতি আলোচিত হইয়াছে। লেন্সের সমীকরণ হইতেও গাণিতিক পদ্ধতিতে আমরা বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকার নির্ণয় করিতে পারি।

(a) উত্তল লেন্সের দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব

(i) বস্তু অসীম দূরত্বে অবস্থিত : এখানে,  $u = \infty$

লেন্সের সমীকরণ হইতে পাই,  $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f}$  (উত্তল লেন্সের  $f$  ঋণাত্মক বলিয়া)

$$\therefore \frac{1}{v} - \frac{1}{\infty} = -\frac{1}{f} \quad \text{বা, } v = -f$$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব ফোকাস-তলে অবস্থিত।  $v$ -এর মান ঋণাত্মক বলিয়া প্রতিবিম্ব

লেন্সের সাপেক্ষে বস্তুর বিপরীত দিকে গঠিত হইবে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব সদৃশ।

রৈখিক বিবর্ধন,  $m = \frac{v}{u}$ ; এখানে  $u$ -এর মান অতি বৃহৎ বলিয়া  $m$ -এর মান অতি

সামান্য। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব আকারে অতি ক্ষুদ্র হইবে।

(ii) বস্তু  $2f$  দূরত্বে অবস্থিত : এখানে  $u = 2f$

লেন্সের সমীকরণ হইতে পাই,  $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f}$

$$\therefore \frac{1}{v} - \frac{1}{2f} = -\frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v} = -\frac{1}{2f}$$

$$\therefore v = -2f$$

অর্থাৎ, লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব  $2f$  হইলে প্রতিবিম্ব লেন্স হইতে  $2f$  দূরত্বে গঠিত হইবে। প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v$  ঋণাত্মক বলিয়া এক্ষেত্রে বস্তু ও প্রতিবিম্ব লেন্সের দুইদিকে

অবস্থিত হইবে; এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব সদৃশ। রৈখিক বিবর্ধন,  $m = \frac{v}{u} = \frac{-2f}{2f} = -1$

অর্থাৎ, এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের আকার বস্তুর আকারের সমান হইবে।

(iii) বস্তু  $2f$  অপেক্ষা বেশি দূরত্বে অবস্থিত : এক্ষেত্রে  $u > 2f$

$$\text{বা,} \quad \frac{1}{u} < \frac{1}{2f}$$

$$\text{আমরা জানি,} \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f}$$

$$\text{বা,} \quad -\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} > \frac{1}{f} - \frac{1}{2f}$$

$$\text{বা,} \quad -v < 2f$$

$$\text{সুতরাং, রৈখিক বিবর্ধন,} \quad m = -\frac{v}{u} < 1$$

অর্থাৎ, এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব সদৃশ, অবশীর্ষ এবং বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইবে।

(iv) বস্তু ফোকাস-তলে অবস্থিত : এখানে  $u = f$

$$\text{কাজেই,} \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f} \quad \text{হইতে পাই,}$$

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v} = 0 \quad \therefore v = \infty$$

অতএব, প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে অবস্থিত হইবে।

আমরা জানি, রৈখিক বিবর্ধন  $= \frac{v}{u}$ । এক্ষেত্রে  $u$  অপেক্ষা  $v$ -এর মান অতি বৃহৎ

বলিয়া প্রতিবিম্ব বস্তু অপেক্ষা বহুগুণ বৃহৎ হইবে।

(v) বস্তু লেন্স ও উহার ফোকাসের মাঝামাঝি অবস্থিত : এখানে  $u < f$

$$\text{সুতরাং,} \quad \frac{1}{u} > \frac{1}{f}$$

... (i)

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{u} - \frac{1}{f} > 0 \quad [(i) \text{ হইতে}]$$

এক্ষেত্রে  $v$  ধনাত্মক। কাজেই, প্রতিবিম্ব এবং বস্তু লেন্সের একই দিকে অবস্থিত। ফলে প্রতিবিম্ব অসদ্ হইবে।

আবার,  $f > u$  বলিয়া লিখিতে পারি,  $f = u + \delta$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{u} - \frac{1}{u + \delta} = \frac{\delta}{u^2 + u\delta}$$

$$\text{বা,} \quad v = u + \frac{u^2}{\delta} = u + \text{একটি ধনাত্মক রাশি}$$

সুতরাং,  $v > u$

রৈখিক বিবর্ধন,  $m = \frac{v}{u} > 1$ ; অর্থাৎ প্রতিবিম্ব বিবর্ধিত হইবে।

(b) অবতল লেন্সের দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব : অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে ফোকাস-দূরত্ব  $f$  ধনাত্মক। সুতরাং, সমীকরণ হইতে পাই,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{f} \quad \dots \quad (ii)$$

অর্থাৎ, বস্তু যেখানেই থাকুক না কেন,  $v$  সর্বদাই ধনাত্মক হইবে। ইহার অর্থ এই যে, অবতল লেন্স সর্বদাই অসদ্ প্রতিবিম্ব গঠন করিবে।

সমীকরণ (ii) হইতে পাই,  $\frac{1}{v} > \frac{1}{u} \therefore v < u$  বা,  $\frac{v}{u} < 1$

অর্থাৎ, রৈখিক বিবর্ধন সর্বদা এক অপেক্ষা কম। কাজেই, বস্তু হইতে প্রতিবিম্ব সর্বদাই আকারে ক্ষুদ্রতর হইবে ;

বস্তু অসীমে অবস্থিত : যখন  $u = \infty$ , তখন আমরা পাই,

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{f} \quad [ \text{সমীকরণ (ii) হইতে} ]$$

$$\text{বা,} \quad \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \therefore v = f$$

অর্থাৎ, বস্তু অসীম দূরত্বে বিদ্যমান হইলে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে ফোকাস-তলে।

(ii) বস্তু ফোকাস-তলে অবস্থিত : এক্ষেত্রে,  $u = f$

লেঙ্গ-সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{f} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v} = \frac{2}{f} \quad \text{বা,} \quad v = \frac{f}{2}$$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব লেন্স হইতে উহার ফোকাস-দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দূরত্বে গঠিত হইবে। এর প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্যও বস্তুর দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হইবে।

দেখা যাইতেছে যে, বস্তু অসীম দূরত্বে হইতে ফোকাস-দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত হইলে প্রতিবিম্ব  $f$  হইতে  $f/2$ -এর মধ্যে থাকিবে।



বস্তু যখন লেন্সের খুব নিকটে অবস্থিত : এখানে  $u \approx 0$

$$\text{অর্থাৎ, } \frac{1}{u} \approx \infty$$

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{f} \approx \infty + \frac{1}{f} = \infty \text{ বা, } v \approx 0$$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্বটিও লেন্সের খুব নিকটে অবস্থিত হইবে।

**বস্তুক বিভিন্ন অবস্থানে লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের  
অবস্থান এবং প্রকৃতি**

**উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে**

বস্তুক অবস্থান	প্রতিবিম্বের অবস্থান	প্রতিবিম্বের প্রকৃতি
(i) অসীম দূরত্বে	ফোকাস-তলে	অতিক্ষুদ্র, অবশীর্ণ, সদ্বিষ্ম
(ii) অসীম দূরত্ব হইতে 2f দূরত্বের মধ্যে	f এবং 2f-এর মধ্যে	বহু অপেক্ষা ছোট, অবশীর্ণ, সদ্বিষ্ম
(iii) 2f দূরত্বে	2f দূরত্বে	বস্তুর সমান, অবশীর্ণ, সদ্বিষ্ম
(iv) 2f এবং f-দূরত্বের মধ্যে	2f-এর বেশি দূরত্বে	বহু অপেক্ষা বড়, অবশীর্ণ, সদ্বিষ্ম
(v) f দূরত্বে	অসীম দূরত্বে	সদ, অবশীর্ণ, অতি বৃহৎ অথবা, অসদ, সমশীর্ণ, অতি বৃহৎ
(vi) f-অপেক্ষা কম দূরত্বে	বহু অপেক্ষা বেশি দূরত্বে	অসদ্বিষ্ম, সমশীর্ণ এবং বৃহত্তর

**অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে**

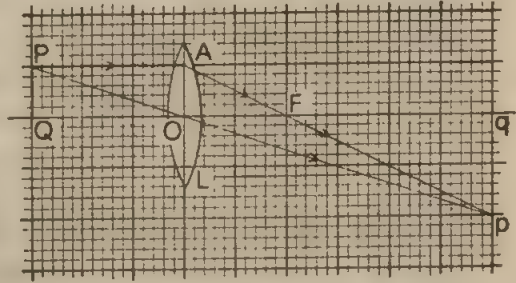
বস্তুক অবস্থান	প্রতিবিম্বের অবস্থান	প্রতিবিম্বের প্রকৃতি
(i) অসীমে	ফোকাস-তলে	অতিক্ষুদ্র, সমশীর্ণ, অসদ্বিষ্ম
(ii) ফোকাস-তলে	f দূরত্বে	বস্তুর অধিক আকারের, সমশীর্ণ, অসদ্বিষ্ম
(iii) লেন্সের খুব কাছে	লেন্সের খুব কাছে	বহু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর, সমশীর্ণ, অসদ্বিষ্ম

### 5.10 গ্রাফ পেপার ব্যবহার করিয়া প্রতিবিম্ব-দূরত্ব নির্ণয়

কোন লেন্সের সম্মুখে একটি বস্তু রাখিলে ইহার প্রতিবিম্ব কোথায় অবস্থিত হইবে এবং ইহার আকার কীরূপ হইবে তাহা নির্ণয়ের জ্যামিতিক অঙ্কন পদ্ধতি আলোচিত হইয়াছে। এই জ্যামিতিক অঙ্কন সাধারণ কাগজে না করিয়া গ্রাফ পেপারে করা সুবিধাজনক, কেন না সেক্ষেত্রে ঐ জ্যামিতিক চিত্র হইতেই সরাসরি প্রতিবিম্ব-দূরত্ব এবং বিবর্ধনের মান পাওয়া যায়। 5.21 নং চিত্রে তাহা দেখান হইয়াছে।

চিত্রে O হইল লেন্সের আলোক-কেন্দ্র। O-এর সাপেক্ষে বস্তু PQ এবং ফোকাস F-এর অবস্থান ঠিক করার সময় বস্তু-দূরত্ব এবং ফোকাস-দূরত্বকে একই স্কেলে প্রকাশ করিতে হইবে।

মনে করি, গ্রাফ পেপারের প্রতিটি ছোট ঘরের দৈর্ঘ্য 2 cm। সুতরাং, বস্তু-দূরত্ব  $u$ -এর মান 30 cm হইলে O হইতে PQ-এর দূরত্ব হইবে 15 ঘর। অনুরূপ ভাবে,  $f$ -এর মান 20 cm হইলে O হইতে F-এর দূরত্ব হইবে 10 ঘর। এইবার, আলোক-কেন্দ্র O এবং ফোকাস F-এর ধর্ম ব্যবহার



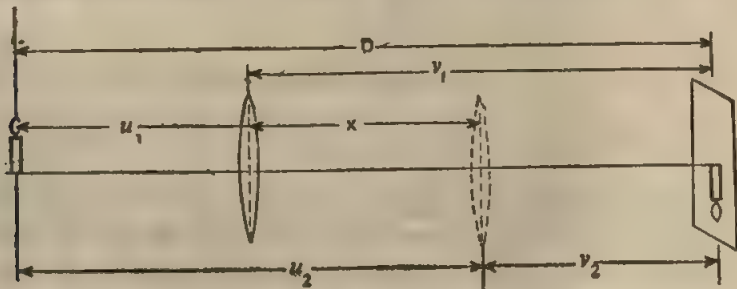
চিত্র 5.21

করিয়া জ্যামিতিক পদ্ধতিতে প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা হইল। আলোক-কেন্দ্র O হইতে প্রতিবিম্ব  $pq$ -এর দূরত্ব 30 ঘর। প্রতি ছোট ঘরের দৈর্ঘ্য 2 cm-এর সমান ধরা হইয়াছে বলিয়া প্রতিবিম্ব-দূরত্ব হইবে  $(30 \times 2)$  cm বা 60 cm। একইভাবে, গ্রাফ পেপার হইতে সরাসরি প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্যও পাওয়া যাইবে।

### 5.11 বস্তু ও সদ্বিম্বের ন্যূনতম দূরত্ব

একটি বস্তু এবং পর্দা পরস্পর হইতে নির্দিষ্ট দূরত্বে রাখা হইয়াছে। ইহাদের মধ্যে একটি উত্তল লেন্স বসান হইল। প্রমাণ করা যায় যে, বস্তু এবং পর্দার দূরত্ব উত্তল লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের চারিগুণ অপেক্ষা বেশি হইলে লেন্সের দুইটি অবস্থানের জন্য পর্দার উপর বস্তুটির সদ্বিম্ব গঠিত হইবে।

মনে করি, বস্তু O হইতে পর্দা S-এর দূরত্ব  $= D$  (চিত্র 5.22)। ধরা যাক, লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব যখন  $u$  তখন পর্দার একটি সদ্বিম্ব গঠিত হইয়াছে।



চিত্র 5.22

আমরা জানি,  $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

এখানে,  $v$  এবং  $f$  উভয়েই ঋণাত্মক বলিয়া

$$-\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \dots (i)$$

$$\text{আবার, } u+v=D \quad \therefore v=D-u \quad \dots (ii)$$

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,

$$\frac{1}{D-u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{u+D-u}{u(D-u)} = \frac{1}{f} \quad \text{বা, } u^2 - uD + Df = 0 \quad \dots (iii)$$

ইহা একটি দ্বিঘাত সমীকরণ, কাজেই ইহার বীজ (roots) দুইটি ; যথা

$$u_1 = \frac{1}{2}(D + \sqrt{D^2 - 4Df}) \text{ এবং } u_2 = \frac{1}{2}(D - \sqrt{D^2 - 4Df}) \quad \dots (iv)$$

স্পষ্টতই, দেখা যাইতেছে যে,  $D^2 - 4Df > 0$  হইলে তবেই  $u$ -এর উপরি-উক্ত মান দুইটি বাস্তব হইবে। অর্থাৎ, লেন্সের দুইটি অবস্থানের জন্য পর্দায় সর্দ্বিষ পাইতে হইলে,  $D^2 > 4Df$  বা,  $D > 4f$   $\dots (v)$

পর্দা ও বস্তুর মধ্যবর্তী দূরত্ব লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের চারিগুণ অপেক্ষা বেশি হইলে লেন্সের দুইটি অবস্থানের জন্য পর্দায় বস্তুর সর্দ্বিষ গঠিত হইবে।  $D$ -এর মান  $4f$  অপেক্ষা কম হইলে  $u$ -এর কোন বাস্তব মানের জন্যই পর্দায় সর্দ্বিষ গঠিত হইবে না। সুতরাং, সিদ্ধান্তে আসা যায়, বস্তু ও উহার সর্দ্বিষের ন্যূনতম দূরত্ব লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের চারিগুণ।

মনে করি, লেন্সের দুইটি অবস্থানের মধ্যবর্তী ব্যবধান =  $x$  (চিত্র 5.22)

$$\therefore u_2 - u_1 = x$$

আবার, সমীকরণ (ii) হইতে পাই,

$$\left. \begin{aligned} u_1 + u_2 &= D \\ u_1 u_2 &= Df \end{aligned} \right\} \quad \dots (vi)$$

$$\therefore x = u_2 - u_1 = \sqrt{(u_2 + u_1)^2 - 4u_1 u_2} = \sqrt{D^2 - 4Df} \quad \dots (vii)$$

$$\therefore x^2 = D^2 - 4Df \quad \text{বা, } f = \frac{D^2 - x^2}{4D} \quad \dots (5.9)$$

সমীকরণ (5.9) হইতে দেখা যাইতেছে যে,  $D$  এবং  $x$ -এর মান জানা থাকিলে লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের মান নির্ণয় করা যায়। ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয়ের এই পদ্ধতিকে সরণ পদ্ধতি (displacement method) বলা হয়, কেননা এক্ষেত্রে লেন্সের সরণ ( $x$ ) মাপিয়া ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করিতে হয়।

এখানে একটি বিষয় লক্ষণীয়। লেন্সের দুইটি অবস্থানের উপর বস্তুর যে-দুইটি প্রতিবিম্ব পাওয়া যায় তাহার মধ্যে একটি প্রতিবিম্ব বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর, অপরটি বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর। আমরা জানি,

$$u_1 + v_1 = D \quad [\text{সমীকরণ (vi) হইতে}]$$

$$\text{আবার, } u_1' + v_1 = D \quad \text{সুতরাং, } u_2 = v_1 \quad \dots (viii)$$

অনুরূপভাবে,  $u_2 + v_2 = D$  বলিয়া  $u_1 = v_2$  ... (ix)

সমীকরণ (viii) ও (ix) হইতে দেখা যাইতেছে যে, লেন্সের প্রথম অবস্থানের বস্তু-দূরত্ব ( $u_1$ ) দ্বিতীয় অবস্থানের প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v_2$ -এর সমান এবং দ্বিতীয় অবস্থানের বস্তু-দূরত্ব ( $u_2$ ) প্রথম অবস্থানের প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v_1$ -এর সমান। অর্থাৎ, লেন্সের দুই অবস্থানের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব-দূরত্বের মান অদল-বদল (interchange) হয়।

মনে করি, লেন্সের প্রথম অবস্থানে প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধনের মান  $= m_1$  এবং দ্বিতীয় অবস্থানে ইহার মান  $= m_2$

$$\begin{aligned} \therefore m_1 &= \frac{v_1}{u_1} = \frac{D - u_1}{u_1} \text{ এবং } m_2 = \frac{v_2}{u_2} = \frac{D - u_2}{u_2} \\ \therefore m_1 m_2 &= \frac{(D - u_1)(D - u_2)}{u_1 u_2} \\ &= \frac{D^2 - (u_1 + u_2)D + u_1 u_2}{u_1 u_2} = \frac{D^2 - D \cdot D + u_1 u_2}{u_1 u_2} \quad (D = u_1 + u_2 \text{ বলিয়া}) \\ &= \frac{u_1 u_2}{u_1 u_2} = 1 \end{aligned} \quad \dots \quad (x)$$

মনে করি, লেন্সের প্রথম অবস্থানে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য  $= I_1$

লেন্সের দ্বিতীয় অবস্থানে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য  $= I_2$

এবং বস্তুর দৈর্ঘ্য  $= O$

$\therefore$  প্রথম অবস্থানে প্রতিবিম্বের বিবর্ধন,  $m_1 = I_1/O$

এবং দ্বিতীয় অবস্থানে প্রতিবিম্বের বিবর্ধন,  $m_2 = I_2/O$

সমীকরণ (viii) হইতে পাই,  $m_1 m_2 = 1$

$$\therefore \frac{I_1}{O} \cdot \frac{I_2}{O} = 1 \text{ বা, } O^2 = I_1 I_2$$

$$\text{বা, } O = \sqrt{I_1 I_2} \quad \dots \quad (5.10)$$

### 5.12 লেন্সের ক্ষমতা (Power of lens)

কোন উত্তল লেন্সের উপর একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ আপতিত হইলে উহা প্রতিসৃত হইয়া কতটা অভিসারী হইবে তাহা নির্ভর করে উহার ফোকাস-দূরত্বের উপর। ফোকাস-দূরত্ব যত কম হয় সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সে পড়িয়া তত বেশি অভিসারী হয় এবং লেন্সের তত কাছে আসিয়া মিলিত হয়। সুতরাং বলা যায়, যে-উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব যত কম তাহার অভিসরণ-ক্ষমতা তত বেশি।

অনুরূপভাবে, কোন অবতল লেন্সের উপর একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ আপতিত হইলে উহা প্রতিসৃত হইয়া কতটা অপসারী হইবে তাহা নির্ভর করে উহার ফোকাস-দূরত্বের উপর। ফোকাস-দূরত্ব যত কম হইবে রশ্মিগুচ্ছ তত বেশি অপসারী হইবে, অর্থাৎ রশ্মি-গুলিকে লেন্সের তত নিকট হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। সুতরাং বলা যায়, যে-অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব যত কম তাহার অপসরণ-ক্ষমতা তত বেশি।



দেখা যাইতেছে যে, ফোকাস-দূরত্ব হ্রাস পাইলে লেন্সের অপসারণ-ক্ষমতা বা অভিসরণ-ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। কাজেই লেন্সের ক্ষমতাকে উহার ফোকাস-দূরত্বের অন্ব্যোয়ক (reciprocal) বলিয়া ধরা হয়। কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব  $f$  হইলে উহার ক্ষমতা  $P=1/f$

লেন্সের ক্ষমতা ডাইঅপ্টার (diopetre) এককে মাপা হয়। এই একককে 'D' দ্বারা সূচিত করা হয়। এক ডাইঅপ্টার ক্ষমতাসম্পন্ন লেন্স বলিতে এক মিটার ফোকাস-দূরত্বের লেন্স বুঝায়। কোন লেন্সের ক্ষমতা ডাইঅপ্টার এককে পাইতে হইলে উহার ফোকাস-দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করিতে হয়। অর্থাৎ,

$$P = \frac{1}{\text{মিটারে ফোকাস-দূরত্ব}} \text{ ডাইঅপ্টার} = \frac{100}{\text{সেন্টিমিটারে ফোকাস-দূরত্ব}} \text{ ডাইঅপ্টার}$$

এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, ক্ষমতা সম্বন্ধে চিহ্নের বিভিন্ন রীতি প্রচলিত আছে। চক্ষু-চিকিৎসকগণ অভিসারী লেন্সের ক্ষমতাকে ধনাত্মক এবং অপসারী লেন্সের ক্ষমতাকে ঋণাত্মক ধরিয়া থাকেন; অর্থাৎ, তাঁহাদের মধ্যে প্রচলিত চিহ্নের রীতি অনুসারে,

$$P = - \frac{100}{\text{সেন্টিমিটারে ফোকাস-দূরত্ব}} \text{ ডাইঅপ্টার} \quad \dots \quad (5.11)$$

পদার্থবিজ্ঞানেও অনেক ক্ষেত্রে এই রীতির প্রচলন দেখা যায়।

### 5.13 লেন্সের প্রকৃতি বুঝিবার সহজ উপায়

আমরা জানি যে, উত্তল লেন্স-কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব যদি লেন্সটির ফোকাস-দৈর্ঘ্য অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হয় তাহা হইলে বস্তুটির প্রতিবিম্ব অসদৃ ও বিবর্ধিত হয়। কিন্তু কোন অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব ফোকাস-দৈর্ঘ্য অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইলে বস্তুটির যে-অসদৃবিম্ব গঠিত হয় তাহা বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর। লেন্সের খুব কাছাকাছি (ফোকাস-দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম দূরত্বে) রাখিত বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে উত্তল এবং অবতল লেন্সের এই পার্থক্য হইতে সহজেই লেন্সের প্রকৃতি নির্ধারণ করা যায়। কোন প্রান্ত লেন্স উত্তল না অবতল তাহা স্থির করিবার জন্য নিম্নরূপ পরীক্ষা করা যাইতে পারে :

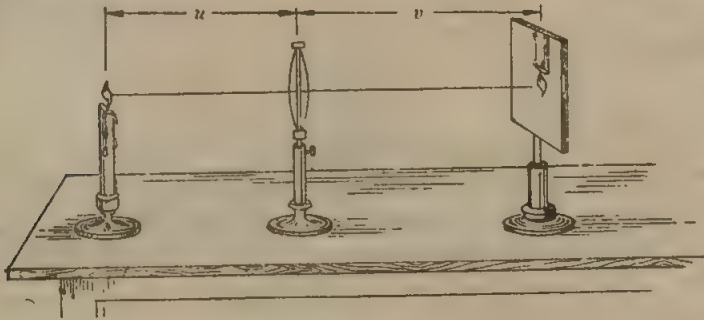
পরীক্ষার্থী লেন্সটির খুব কাছে একটি আঙুল বা পেন্সিল বা অনুরূপ কোন বস্তু রাখিয়া লেন্সের অপর পার্শ্ব হইতে উহার প্রতিবিম্বটি লক্ষ্য করিতে হইবে। যদি দেখা যায় যে, প্রতিবিম্বটি বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, লেন্সটি উত্তল। আর যদি দেখা যায় যে, প্রতিবিম্বটি বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর তাহা হইলে বুঝিতে হইবে লেন্সটি অবতল।

### 5.14 উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয়

উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয়ের নানা পদ্ধতি আছে। নিম্নে আমরা কেবলমাত্র দুইটি পদ্ধতির আলোচনা করিব।

(i)  $u-v$  পদ্ধতি : লেন্স হইতে কোন বস্তুর দূরত্ব ( $u$ ) এবং উহার সদৃবিম্বের দূরত্ব ( $v$ ) মাপিয়া সহজেই ঐ লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব ( $f$ ) -এর মান নির্ণয় করা যায়।

একটি মোমবাতিতে একটি স্ট্যান্ডের উপর বসাইয়া স্ট্যান্ডটিকে একটি টেবিলের উপর বসান হইল [ চিত্র 5.23 ]। এইবার পরীক্ষাধীন উত্তল লেন্সটিকে অপর একটি স্ট্যান্ডে আটকাইয়া উহাকেও টেবিলের উপর স্থাপন করা হইল। লেন্সটির উচ্চতাইরূপ হওয়া প্রয়োজন যাহাতে মোমবাতির শিখাটি লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর থাকে। এইবার লেন্সের পশ্চাতে একটি সাদা কাগজের পর্দা স্থাপন করা হইল। মোমবাতি এবং পর্দাকে উপযুক্ত দূরত্বে রাখিয়া লেন্সটিকে অগ্র-পশ্চাৎ সরাইলে পর্দায় মোমবাতির সর্দবিষ গঠন করা যায়।



চিত্র 5.23

এই অবস্থায় লেন্স হইতে মোমবাতির দূরত্ব ( বা বস্তু-দূরত্ব )  $u$  এবং লেন্স হইতে পর্দার দূরত্ব ( বা, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব )  $v$  মাপিয়া লওয়া হইল।

এখন আমরা জানি যে, কোন উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব  $f$  হইলে বস্তু-দূরত্ব ( $u$ ) এবং বস্তুটির সর্দবিষের দূরত্ব নিম্নের সম্পর্কটি মানিয়া চলে :

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

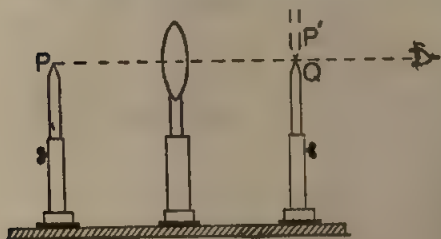
সুতরাং লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব,  $f = \frac{uv}{u+v}$  (i)

পরীক্ষার সাহায্যে  $u$  এবং  $v$ -এর মান মাপিয়া উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব  $f$ -এর মান নির্ণয় করা যায়।

(ii) প্যারালাক্স পদ্ধতি (parallax method) : দুইটি পিন ব্যবহার করিয়া প্যারালাক্স পদ্ধতিতে উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা যায়। একটি অনুভূমিক টেবিলের উপর একই সরলরেখা বরাবর খাড়া নলযুক্ত তিনটি ধারক স্থাপন করা হইল ( চিত্র 5.24 )। পরীক্ষাধীন লেন্সটিকে একটি দণ্ডযুক্ত আঁচের সাহায্যে মাঝের নলটির উপর স্থাপন করা হইল। পাশের নল দুইটিতে সূচাগ্রবিশিষ্ট দুইটি পিন খাড়াভাবে বসান হইল। পিন দুইটিকে এমনভাবে স্থাপন করা হইল যাহাতে উহাদের সূচাগ্র এবং লেন্সটির মধ্যবিন্দু একই অনুভূমিক রেখার উপর থাকে।

এইবার একটি পিন P-কে পরীক্ষাধীন লেন্স হইতে এমন দূরত্বে রাখা হইল যাহাতে লেন্সের অন্য পাশে টহার একটি অবশীর্ষ সর্দবিষ গঠিত হয়। এইবার, অন্য পাশের পিন Q-কে এমন অবস্থানে বসান হইল যাহাতে P পিনের সর্দবিষ P'-এর অগ্রভাগ

এবং Q পিনের অগ্রভাগ পরস্পরের সঁহিত মিলিত হয়। এই অবস্থায় Q পিনের পিছনে চোখ রাখিয়া চোখকে লেলের অক্ষের সমকোণে এপাশ-ওপাশ সরাইলে



চিত্র 5.24

P'-এর অগ্রভাগ এবং Q-এর অগ্রভাগ সঁর্বদাই পরস্পরকে স্পর্শ করিয়া থাকে—চোখের কোন অবস্থানেই উহাদের বিচ্ছিন্ন হইতে দেখা যায় না। এইরূপ হইলে বুঝিতে হইবে যে, P পিনের প্রতিবিম্ব P' এবং Q পিন পরস্পর সমাপতিত হইয়াছে। এই অবস্থায় স্ক্রেলের সাহায্যে লেন্স হইতে পিন

P-এর দূরত্ব  $u$  এবং লেন্স হইতে পিন Q-এর দূরত্ব  $v$  মাপিয়া লওয়া হয়। এখানে  $u$  হইল বস্তু-দূরত্ব এবং  $v$  হইল আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্ব-দূরত্ব। লেন্স হইতে পিন P-কে বিভিন্ন দূরত্বে রাখিয়া উপরি-উক্ত পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করিয়া বিভিন্ন বস্তু-দূরত্ব  $u_1, u_2, u_3$  ইত্যাদির আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v_1, v_2, v_3$  ইত্যাদি নির্ধারণ করা যায়।

আমরা জানি যে, উত্তল লেন্স-কর্তৃক গঠিত সদ্বিম্বের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব  $u$  এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v$ -এর সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

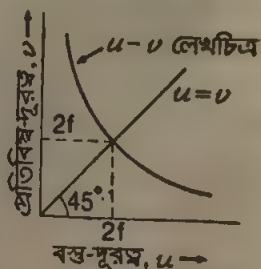
$$\text{বা, } f = \frac{uv}{u+v}$$

(i)

$u$ -এর বিভিন্ন মানের জন্য আনুষঙ্গিক  $v$ -এর মান ব্যবহার করিয়া (i) নং সমীকরণ হইতে প্রতি ক্ষেত্রে  $f$ -এর মান গণনা করা যায়। এই মানগুলির গড় লইয়া পরীক্ষাধীন লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা হয়।

### ● লেখচিত্রের সাহায্যে ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় :

প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $u$ -এর বিভিন্ন মানের আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্ব-দূরত্ব নির্ণয় করিয়া  $u-v$  লেখচিত্র অঙ্কন করিয়া ফোকাস-দূরত্ব  $f$ -এর মান নির্ণয় করা যায়। আমরা জানি যে, বস্তুদূরত্ব  $2f$ -এর বেশি হইলে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $2f$ -এর কম হয় ; আবার বস্তু-দূরত্ব  $2f$ -এর কম হইলে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $2f$ -এর বেশি হয়। বস্তু-দূরত্ব  $2f$  হইলে প্রতিবিম্ব-দূরত্বও  $2f$  হয়। কাজেই, বস্তু-দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব সমান হইলে ( $u=v$  হইলে) বুঝিতে হইবে যে, বস্তু-দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $2f$ -এর সমান। এই সত্য কাজে লাগাইয়া  $u-v$  লেখচিত্র হইতে ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 5.25

প্রথমে  $u$  এবং  $v$ -এর পরীক্ষালব্ধ মানগুলি ব্যবহার করিয়া  $u-v$  লেখচিত্র অঙ্কন করা যায়। এই লেখচিত্রের আকৃতি 5.25 নং চিত্রের অনুরূপ হইবে, এই লেখচিত্র অঙ্কনে  $u$ -এর এবং  $v$ -এর

মান প্রকাশের জন্য একই স্কেল ব্যবহার করিতে হইবে।  $u-v$  লেখচিত্রটি প্রকৃতপক্ষে উপরের i) নং সমীকরণের লেখচিত্র।

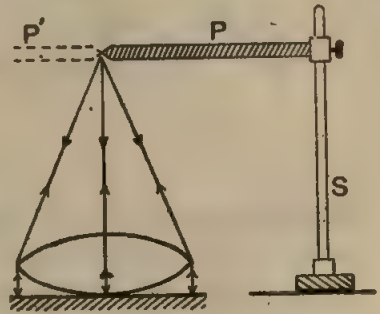
উহার পর, মূলবিন্দু দিয়া  $u$ -অক্ষের সহিত  $45^\circ$  কোণ করিয়া একটি সরলরেখা অঙ্কন করা হইল। স্পষ্টতই, এই সরলরেখার সমীকরণ

$$u = v \quad \dots \quad (ii)$$

এই সরলরেখা যে-বিন্দুতে  $u-v$  লেখচিত্রকে ছেদ করে সেই বিন্দুতে  $u$  এবং  $v$ -এর মান  $2f$ -এর সমান হইবে। কাজেই, ঐ ছেদবিন্দু হইতে  $u$ -অক্ষের উপর কিংবা  $v$ -অক্ষের লম্ব টানিয়া  $2f$ -এর মান পাওয়া যায়। এই মানকে 2 দিয়া ভাগ করিয়া লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব  $f$ -এর মান নির্ণয় করা যায়।

(iii) সমতল দর্পণের সাহায্যে উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় :

এই পদ্ধতিতে পরীক্ষাধীন উত্তল লেন্সকে একটি সমতল দর্পণের উপর স্থাপন করিতে হয়। একটি ক্ল্যাম্প S-এর সাহায্যে একটি পিন অনুভূমিক অবস্থায় এমনভাবে আটকান থাকে যাহাতে উহার সূচাগ্রটি পরীক্ষাধীন লেন্সের মধ্যবিন্দুগামী উল্লম্ব রেখার উপর ( বা, প্রধান অক্ষের উপর ) থাকে। পিন P হইতে নির্গত আলোক-রশ্মি প্রথমে লেন্সে পড়িয়া প্রতিসৃত হইয়া নিচের সমতল দর্পণে পড়িবে। দর্পণ হইতে প্রতিফলিত হইয়া আবার লেন্সে পড়িবে, এবং উহার দ্বারা প্রতিসৃত হইবে এবং চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব গঠন করিবে।



চিত্র 5.26

P পিনটি যদি পরীক্ষাধীন লেন্সের ফোকাস-তলে থাকে তবে উহার অগ্ন্যঙ্কন হইতে নিসৃত আলোক-রশ্মিগুচ্ছ লেন্স-কর্ডক প্রতিসৃত হইয়া সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ গঠন করিবে। এই রশ্মিগুচ্ছ সমতল দর্পণের দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া আবার লেন্সের উপর পড়িবে এবং উহার দ্বারা প্রতিসৃত হইয়া লেন্সের ফোকাস-তলে আসিয়া মিলিত হইবে। সুতরাং, পিন P যদি লেন্সের ফোকাস-তলে থাকে তবে উহার প্রতিবিম্বটিও একই তলে গঠিত হইবে।

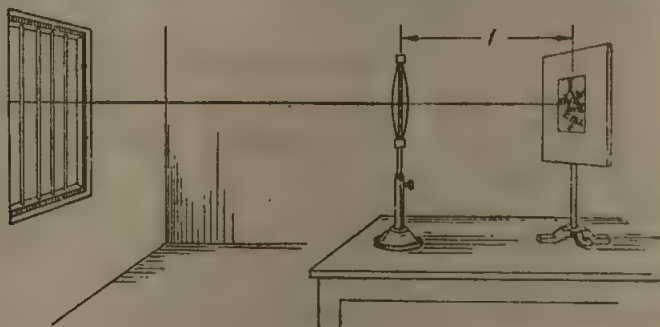
পরীক্ষাকালে P পিনটিকে উঠাইয়া-নামাইয়া উহাকে এমন অবস্থানে আনিতে হইবে যাহাতে লেন্স এবং দর্পণের দ্বারা গঠিত পিনের প্রতিবিম্ব P' এবং পিন P একই তলে অবস্থান করে। এই অবস্থায় পিনের উপরে চোখ রাখিয়া চোখকে এগাশ-ওগাশ সরাইলে P এবং P'-এর মধ্যে কোন পার্যালান্স দেখা যাইবে না। এইরূপ হইলে বুঝিতে হইবে যে, পিনটি লেন্সের ফোকাস-তলে অবস্থিত। পিনটিকে এই অবস্থানে আনিয়া একটি স্কেলের সাহায্যে লেন্স হইতে উহার ফোকাস-তলের দূরত্ব মাপিয়া লইয়া লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা যায়।

(iv) দূরবর্তী বস্তুির প্রতিবিম্ব গঠন করিয়া উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় : আমরা জানি যে, বস্তু-দূরত্ব অসীম হইলে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের সমান



হয়। কাজেই, উত্তল লেন্সের সাহায্যে কোন পর্দার উপর দূরবর্তী কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করিলে লেন্স হইতে পর্দার দূরত্ব প্রায় ফোকাস-দূরত্বের সমান হইবে। এই সত্য কাজে লাগাইয়া অতি সহজেই কোন উত্তল-লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের মান মোটামুটি নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায়।

পরীক্ষাধীন উত্তল লেন্সকে ঘরের জানালা হইতে বেশ কিছুটা দূরে স্থাপন করা হইল। লেন্সটিকে এমনভাবে রাখা হইল যাতে ইহার একটি পৃষ্ঠ জানালার দিকে ফিরান থাকে। ইহার পর লেন্সের পিছনে একটি পর্দা রাখা হইল (চিত্র 5.27)। পর্দাটিকে অগ্র-পশ্চাৎ সরাইলে এক সময় পর্দার উপর জানালার (কিংবা ঘরের বাহিরে



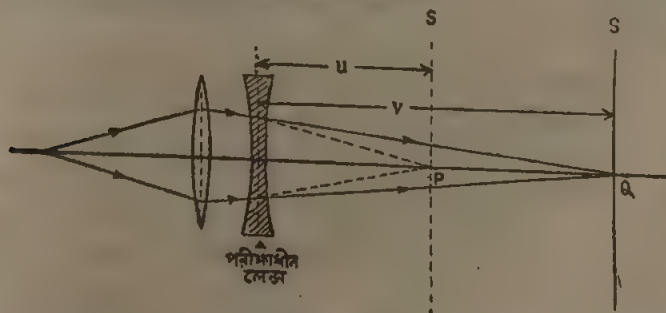
চিত্র 5.27

অবস্থিত কোন বৃক্ষ বা অট্টালিকার) একটি ক্ষুদ্র অবশীর্ণ প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। এই সময় লেন্স হইতে পর্দার দূরত্ব লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের প্রায় সমান। একটি স্কেলের সাহায্যে এই দূরত্ব মাপিয়া  $f$ -এর মান পাওয়া যায়।

উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, উপরে বর্ণিত পরীক্ষা দুইটি অঙ্ককর পরীক্ষাগারে করাই সুবিধাজনক।

### 5.15 অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয়

সাধারণত একটি সহায়ক উত্তল-লেন্স ব্যবহার করিয়া অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা হয়। নিম্নে একটি পদ্ধতি আলোচিত হইল।



চিত্র 5.28

উত্তল লেন্সের সাহায্যে কোন পর্দায় একটি বস্তুর স্খলিত প্রতিবিম্ব গঠন করা হইল।

5.28 নং চিত্রে বস্তুটিকে O দ্বারা এবং উত্তল লেন্স-কর্তৃক গঠিত ইহার প্রতিবিম্বটিকে P দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। S অবস্থানে কোন পর্দা রাখিলে O বস্তুর প্রতিবিম্ব P ঐ পর্দার উপর পড়িবে। এইবার পরীক্ষাধীন অবতল লেন্সটিকে উত্তল লেন্সের ঠিক পিছনে বসান হইল। অবতল লেন্সটির ক্রিয়ায় উহাতে আপতিত আলোক-রশ্মির অভিসরণ (convergence) হ্রাস পায়। ইহাতে প্রতিবিম্বটি উত্তল লেন্স হইতে পূর্বাপেক্ষা দূরে সরিয়া যায়। প্রতিবিম্বকে পুনরায় পর্দায় ফেলিতে হইলে পর্দাটিকে S অবস্থান হইতে সরাইয়া S' অবস্থানে আনিতে হইবে।

লক্ষণীয় যে, উত্তল লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব P অবতল লেন্সটির ক্ষেত্রে অসদ্বস্তুর (virtual object) মত ক্রিয়া করিতেছে। অবতল লেন্স Q বিন্দুতে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠন করিয়াছে।

এক্ষেত্রে, বস্তু-দূরত্ব,  $u$  = অবতল দর্পণ হইতে P বিন্দুর দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব,  $v$  = অবতল দর্পণ হইতে Q বিন্দুর দূরত্ব (চিত্র 5.28)। অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব  $f$  হইলে

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \dots (i)$$

এক্ষেত্রে স্পষ্টতই  $u$  এবং  $v$  উভয়েই ঋণাত্মক। কাজেই, (i) হইতে পাই,

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{u} - \frac{1}{v} \quad \text{বা,} \quad f = \left( \frac{vu}{v-u} \right)$$

কাজেই, পরীক্ষাধীন অবতল লেন্স হইতে পর্দার প্রাথমিক দূরত্ব  $u$  এবং অন্তিম দূরত্ব  $v$  মাপিয়া লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় করা যায়।

### ● সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণাবলী

**উদাহরণ 5.1** 15 cm ফোকাস-দৈর্ঘ্যসম্পন্ন একটি উত্তল লেন্স উহার অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত একটি বিস্তৃত বস্তুর বিবর্তিত অসদ্বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করে। যদি প্রতিবিম্বটি 3 গুণ বিবর্তিত হয় তাহা হইলে বস্তু-দূরত্ব নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

**সমাধান :** মনে করি, বস্তু-দূরত্ব =  $u$  cm

এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব =  $v$  cm

প্রতিবিম্ব অসদ্ব বস্তুটির প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ঋণাত্মক।

$$\text{প্রদানানুসারে, বিবর্তন} = \frac{v}{u} = 3 \quad \text{বা,} \quad v = 3u \quad \dots (i)$$

$$\text{আমরা জানি যে,} \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{এক্ষেত্রে } f = -15 \text{ cm বলিয়া লেখা যায়,} \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{15} \quad \dots (ii)$$

$$\text{সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,} \quad \frac{1}{3u} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{15}$$

$$\text{বা,} \quad -\frac{2}{3u} = -\frac{1}{15} \quad \text{বা,} \quad u = 10 \text{ cm}$$

**উদাহরণ 5.2** একটি লেন্স হইতে 30 cm দূরে কোন বস্তু রাখিলে একটি অসদৃশ্য গঠিত হয়। প্রতিবিম্বের বিবর্ধন  $2/3$ -এর সমান। প্রতিবিম্বের অবস্থান ও লেন্সটির ফোকাস-দূর্য নির্ণয় কর। লেন্সটি কী প্রকারের? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

**সমাধান :** প্রশ্নানুসারে, বিবর্ধন  $= \frac{v}{u} = \frac{2}{3}$

কাজেই,  $v = \frac{2}{3}u = \frac{2}{3} \times 30 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$

অর্থাৎ, প্রতিবিম্বটি লেন্স হইতে 20 cm দূরে অবস্থিত হইবে।

প্রতিবিম্বটি অসদৃ বলিয়া  $u$  এবং  $v$ -ইহারা উভয়েই ধনাত্মক হইবে।

লেন্স সমীকরণ হইতে পাই,  $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

বা,  $\frac{1}{20} - \frac{1}{30} = \frac{1}{f}$  বা,  $\frac{1}{f} = \frac{3-2}{60} = \frac{1}{60}$  বা,  $f = 60 \text{ cm}$

লেন্সের ফোকাস-দূর্য ধনাত্মক বলিয়া লেন্সটি অবতল হইবে।

**মন্তব্য :** উত্তল লেন্স-কর্তৃক গঠিত অসদৃশ্য সর্বদাই বস্তু অপেক্ষা বড় হয়। অর্থাৎ, উত্তল লেন্স-কর্তৃক অসদৃশ্য গঠনের ক্ষেত্রে বিবর্ধনের মান সর্বদাই 1 অপেক্ষা বেশি। উপরের উদাহরণে প্রতিবিম্বটি অসদৃ এবং বিবর্ধনের মান 1 অপেক্ষা কম। কাজেই, এক্ষেত্রে লেন্সটি অবতল হইবে।

**উদাহরণ 5.3** একটি লেন্স হইতে 60 cm দূরে কোন বস্তু রাখিলে অপর পার্শ্বে লেন্স হইতে 300 cm দূরে বস্তুটির প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। যদি বস্তুটিকে লেন্সের দিকে 20 cm সরান হয়, তবে প্রতিবিম্বটি কতটা দূরে সরিয়া যাইবে? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

**সমাধান :** বস্তুটি লেন্সের যে-পার্শ্বে অবস্থিত প্রতিবিম্ব উহার বিপরীত দিকে গঠিত হয় বলিয়া ইহা একটি সদৃশ্য এবং লেন্সটি উত্তল। শর্তানুসারে, যখন বস্তু-দূর্য  $u = 60 \text{ cm}$ , তখন প্রতিবিম্ব-দূর্য,  $v = -300 \text{ cm}$ ; লেন্সটির ফোকাস-দূর্য  $f$  হইলে লেখা যায়,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{-300} - \frac{1}{60} = \frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad f = -50 \text{ cm}$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, বস্তু-দূর্য,  $u' = 60 - 20 = 40 \text{ cm}$

এই সময় প্রতিবিম্ব-দূর্য  $v'$  হইলে লেখা যায়,

$$\frac{1}{v'} - \frac{1}{u'} = \frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v'} - \frac{1}{40} = \frac{1}{-50} \quad \text{বা,} \quad v' = 200 \text{ cm}$$

এই প্রতিবিম্ব-দূর্য ধনাত্মক বলিয়া বস্তুটি লেন্সের যে-পার্শ্বে অবস্থিত প্রতিবিম্বও সেই পার্শ্বেই অবস্থিত হইবে। কাজেই, প্রতিবিম্বের সরণ  $= (300 + 200)$  বা 500 cm।

**উদাহরণ 5.4** 20 cm ফোকাস-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট উত্তল লেন্স হইতে কত দূরে একটি বস্তুকে রাখিলে উহার প্রতিবিম্ব সদৃ এবং বস্তু অপেক্ষা আকারে তিনগুণ হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (কম্পার্টমেন্টাল), 1961]

**সমাধান :** এক্ষেত্রে বিবর্ধন,  $m = \frac{v}{u} = -3$  (প্রতিবিম্ব সদৃ বলিয়া  $m$  ঋণাত্মক)

$$\therefore v = -3u$$

$$\text{লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য} = f = -20 \text{ cm}$$

$$\text{আমরা জানি, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \therefore \quad \frac{1}{-3u} - \frac{1}{u} = \frac{1}{-20}$$

$$\text{বা, } \frac{4}{3u} = \frac{1}{20} \quad \text{বা, } u = \frac{80}{3} = 26.67$$

সুতরাং বস্তুকে লেন্স হইতে 26.67 cm দূরে রাখিতে হইবে।

**উদাহরণ 5.5** একটি বস্তুকে কোন উত্তল লেন্স হইতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে রাখিলে 5 গুণ বিবর্ধিত একটি সদ্ভাব পাওয়া যায়। বস্তুটি লেন্স হইতে আরও 3 cm সরিয়া গেলে ষ্টিগুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়। লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব এবং লেন্স হইতে বস্তুটির প্রাথমিক দূরত্ব নির্ণয় কর।

**সমাধান :** মনে করি, লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব =  $f$  এবং লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব =  $u$  cm

$$\text{শর্তানুসারে, } m = \frac{v}{u} = -5 \quad \therefore \quad v = 5u$$

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f} \quad (f \text{ ঋণাত্মক বলিয়া)}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{5u} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f} \quad \text{বা, } \frac{6}{5u} = \frac{1}{f} \quad \text{বা, } f = \frac{5u}{6} \quad \dots \quad (i)$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, বস্তুর দূরত্ব =  $u+3$ । ধরি, এই সময় প্রতিবিম্বের দূরত্ব =  $v'$

$$m = \frac{v'}{u+3} = -2 \quad \therefore \quad v' = -2(u+3)$$

$$\text{লেন্সের সমীকরণ হইতে পাই, } \frac{1}{v'} - \frac{1}{u+3} = -\frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{-2(u+3)} - \frac{1}{u+3} = -\frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{3}{2(u+3)} = \frac{1}{f} \quad \text{বা, } f = 2\left(\frac{u}{3} + 1\right) \quad \dots \quad (ii)$$

$$\therefore \quad \frac{5u}{6} = 2\left(\frac{u}{3} + 1\right) \quad \left[ \text{সমীকরণ (i) ও (ii) হইতে} \right]$$

$$\text{বা, } u = 12 \text{ cm}$$

$$\text{কাজেই, (i) হইতে পাই, } f = \frac{5}{6} u = \frac{5}{6} \times 12 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

**উদাহরণ 5.6** 16 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল-লেন্সের অক্ষের উপর লেন্সটির এক পার্শ্বে উহা হইতে 8 cm দূরে একটি বস্তু রাখা হইল। 10 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট দ্বিতীয় একটি উত্তল লেন্স প্রথম লেন্সটির অপর পার্শ্বে 5 cm দূরে সমাক্ষভাবে রাখা হইল। লেন্স দুইটির সমন্বয় দ্বারা গঠিত চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটির অবস্থান ও বিবর্ধন নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

**সমাধান :** প্রথম লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব,  $f_1 = -16$  cm এবং ঐ লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব,  $u_1 = 8$  cm।

কাজেই, প্রথম লেন্স হইতে বস্তুটির প্রতিবিম্বের দূরত্ব  $v_1$  হইলে লেখা যায়,

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f_1} \quad \text{বা, } \frac{1}{v_1} - \frac{1}{8} = \frac{1}{-16} \quad \text{বা, } v_1 = 16 \text{ cm}$$



$v_1$  খণ্ডক বলিয়া এই প্রতিবিম্ব অসদৃশ। দ্বিতীয় লেন্স হইতে ইহার দূরত্ব,

$$u_2 = v_1 + 5 \text{ cm} = 16 + 5 = 21 \text{ cm}$$

দ্বিতীয় লেন্স হইতে চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের দূরত্ব  $v_2$  হইলে লেখা যায়,

$$\frac{1}{v_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_2} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v_2} - \frac{1}{21} = \frac{1}{-10} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v_2} = \frac{1}{21} - \frac{1}{10}$$

$$\text{বা, } v_2 = -\frac{1}{\frac{1}{21} - \frac{1}{10}} = -19.09 \text{ cm}$$

এক্ষেত্রে, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v_2$  ঋণাত্মক। কাজেই, চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটি একটি সদৃশ বিম্ব দ্বিতীয় লেন্স হইতে ইহার দূরত্ব 19.09 cm।

$$\text{প্রথম লেন্স-কর্তৃক বিবর্ধন, } m_1 = \frac{v_1}{u_1} = \frac{16}{8} = 2$$

$$\text{দ্বিতীয় লেন্স-কর্তৃক বিবর্ধন } m_2 = \frac{v_2}{u_2} = -\frac{19.09}{21} = -0.91$$

$$\text{কাজেই, মোট বিবর্ধন, } m = m_1 m_2 = -2 \times 0.91 = -1.82$$

**উদাহরণ 5.**  $f$  ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্স কোন বস্তুর  $n$  গুণ বিবর্ধিত সদৃশ বিম্ব গঠন করিল। প্রমাণ কর যে, বস্তুটি লেন্স হইতে  $\frac{n+1}{n} \cdot f$  দূরে অবস্থিত।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980 ]

$$\text{সমাধান : আমরা জানি যে, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \dots (i)$$

এখানে, গঠিত প্রতিবিম্ব সদৃশ বলিয়া বিবর্ধন ঋণাত্মক।

$$\text{কাজেই, } \frac{v}{u} = -n \quad \text{বা, } v = -nu \quad \dots (ii)$$

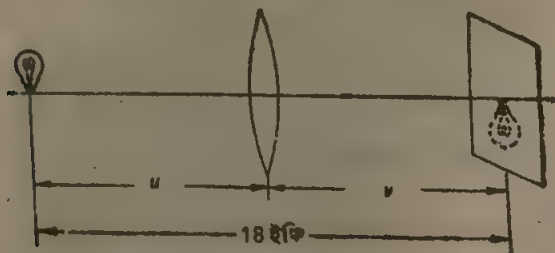
উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে ফোকাস-দূরত্ব ঋণাত্মক বলিয়া সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে লেখা যায়

$$-\frac{1}{nu} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{n+1}{nu} = \frac{1}{f} \quad \text{বা, } u = \frac{n+1}{n} \cdot f$$

**উদাহরণ 5.8** একটি বৈদ্যুতিক বাতি হইতে 18 ইঞ্চি দূরে একটি পর্দা রাখা হইল। 4 ইঞ্চি ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্সকে কোথায় রাখিলে পর্দাটির উপর একটি পরিষ্কার প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1966 ]

$$\text{সমাধান : আমরা জানি যে, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \dots (i)$$



চিত্র 5.29

এখানে  $u$  = বস্তু-দূরত্ব,  $v$  = প্রতিবিম্ব-দূরত্ব এবং  $f$  = লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব।

শর্তানুসারে,  $f = -4$  ইঞ্চি এবং  $u + v = 18$  ইঞ্চি (চিত্র 5.29)।

বা,  $u = (18 - v)$  ইঞ্চি

কাজেই, (i) নং সমীকরণ হইতে পাই,

$$-\frac{1}{v} - \frac{1}{(18-v)} = -\frac{1}{4}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{v} + \frac{1}{(18-v)} = \frac{1}{4}$$

$$\text{বা, } v^2 - 18v + 72 = 0$$

$$\text{বা, } (v - 12)(v - 6) = 0$$

কাজেই, লেন্স হইতে পর্দার দূরত্ব 6 ইঞ্চি এবং 12 ইঞ্চি হইলে পর্দায় প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

**উদাহরণ 5.9** একটি অভিসারী লেন্স কর্তৃক একটি বস্তুর তিনগুণ বিবর্ধিত অসদ্বিধ গঠিত হইল। লেন্সটির ফোকাস-দৈর্ঘ্য 25 cm হইলে বস্তু-দূরত্ব কত?

**সমাধান :** মনে করি, নির্ণেয় বস্তু-দূরত্ব =  $u$

লেন্সটি অভিসারী বলিয়া ইহার ফোকাস-দৈর্ঘ্য  $f$  ঋণাত্মক হইবে। ধরি, লেন্স হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব =  $v$

$$\text{প্রশ্নের শর্তানুসারে, রৈখিক বিবর্ধন, } m = \frac{v}{u} = 3 \quad \therefore v = 3u$$

$$\text{লেন্সের সমীকরণ হইতে লেখা যায়, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{3u} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{20} \quad \text{বা, } \frac{2}{3u} = \frac{1}{20} \quad \text{বা, } u = 13.33 \text{ cm}$$

**উদাহরণ 5.10** কোন পর্দার উপর একটি ফিল্মের 50 গুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব ফেলিতে হইবে। প্রয়োজ্ঞতার লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব 7.5 cm হইলে পর্দাটিকে লেন্স হইতে কত দূরে রাখিতে হইবে? এই অবস্থায় পর্দা হইতে লেন্সের দূরত্বই বা কত?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1985]

**সমাধান :** এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটি সদ্বিধ। প্রয়োজনীয় বিবর্ধন 50 বলিয়া লেখা যায়,

$$m = \frac{v}{u} = 50$$

$$\text{বা, } v = 50u \quad \dots \quad (i)$$

$$\text{লেন্সের 'সূত্র'ানুসারে, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } -\frac{1}{50u} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{7.5} \quad [v \text{ এবং } f \text{ ঋণাত্মক বলিয়া}]$$

$$\text{বা, } u = \frac{7.5 \times 51}{50} \text{ cm} = 7.65 \text{ cm}$$

$\therefore$  প্রতিবিম্ব-দূরত্ব = লেন্স হইতে পর্দার দূরত্ব

$$= 50u = 7.5 \times 51 \text{ cm} = 382.5 \text{ cm}$$

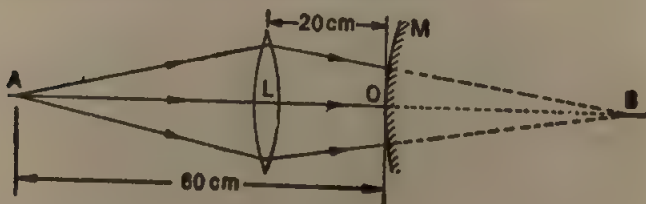
**উদাহরণ 5.11** একটি উত্তল লেন্সের অক্ষের উপর অবস্থিত কোন বিন্দু A হইতে একটি আলোক-রশ্মিগুচ্ছ অপসৃত হইল এবং লেন্সের মধ্য দিয়া গিয়া উত্তল দর্পণের তল হইতে প্রতিফলিত হইল। প্রতিফলিত রশ্মিটি লেন্স-কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া যে-বিন্দুতে মিলিত হয় উহা A বিন্দুর সাহিত সমাপতিত হয়। লেন্স হইতে দর্পণটির দূরত্ব 20 cm, দর্পণ হইতে A বিন্দুর দূরত্ব 60 cm এবং লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব 24 cm হইলে দর্পণটির বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

**সমাধান :** 5.30 নং চিত্রটি দেখ। প্রশ্নের শর্তানুসারে,

$$LO = 20 \text{ cm}; \text{ এবং } AO = 60 \text{ cm}$$

$$\text{কাজেই, বস্তু-দূরত্ব, } u = AL = AO - OL = (60 - 20) \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

$$\text{এক্ষেত্রে, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব (লেন্সের সাপেক্ষে), } v = LB$$



চিত্র 5.30

প্রশ্নের শর্তানুসারে, আলোক-রশ্মি উত্তল দর্পণ M-এর প্রতিটি বিন্দুতে লম্বভাবে (normally) আপতিত হইয়াছে। অর্থাৎ, B বিন্দুটি হইল M দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র :

$$\text{লেন্সের সমীকরণ হইতে পাই, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{v} - \frac{1}{40} = -\frac{1}{24} \quad [\text{ফোকাস-দূরত্ব ঋণাত্মক বলিয়া}]$$

$$\text{বা, } \frac{1}{v} = \frac{1}{40} - \frac{1}{24} = -\frac{1}{60}$$

$$\text{বা, } v = -60 \text{ cm}$$

$$\text{অর্থাৎ, } LB = 60 \text{ cm}$$

$$\therefore \text{দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ} = OB = LB - LO = (60 - 20) \text{ cm} = 40 \text{ cm}$$

**উদাহরণ 5.12** কোন বস্তুকে একটি উত্তল লেন্স হইতে কিছু দূরে রাখিলে যে-সদ্বিবর্ধ গঠিত হয় উহার বিবর্ধন  $m_1$  এবং বস্তুটিকে লেন্স হইতে আরও  $x$ -দূরত্বে সরাইয়া লইলে যে-সদ্বিবর্ধ গঠিত হয় উহার বিবর্ধন  $m_2$  হইলে দেখাও যে, লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব,

$$f = x \left/ \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2} \right) \right.$$

$$\text{সমাধান : লেন্সের সমীকরণ হইতে পাই, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে  $f$  ঋণাত্মক। সদ্বিবর্ধ গঠিত হইলে  $v$ -ও ঋণাত্মক। সুতরাং সদ্বিবর্ধের ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$$-\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f} \quad \text{বা, } \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$u \text{ দ্বারা গুণ করিয়া পাই, } \frac{u}{v} + 1 = \frac{u}{f} \text{ বা, } -\frac{1}{m_1} + 1 = \frac{u}{f} \quad \dots \quad (i)$$

$$\text{অনুরূপভাবে, } -\frac{1}{m_2} + 1 = \frac{u+x}{f} \quad \dots \quad (ii)$$

$$\frac{x}{f} = \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2} \right) \quad [ (i) \text{ ও } (ii) \text{ হইতে পাই } ]$$

$$\text{বা, } f = x \left/ \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2} \right) \right.$$

### 5.16 প্রতিবিম্বের ত্রুটি (Defects of Image)

ইতিপূর্বে লেন্স বা দর্পণ-কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠন সম্পর্কে যে-আলোচনা করিয়াছি তাহাতে আমরা ধরিয়া লইয়াছি—

(i) প্রতিবিম্ব গঠনকারী আলোক-রশ্মিগুলি অক্ষের সমান্তরাল বা অক্ষের সহিত ক্ষুদ্র কোণে আনত অবস্থায় লেন্স বা দর্পণের উপর আপতিত হইয়াছে।

(ii) প্রতিবিম্ব গঠনকারী রশ্মিগুলি দর্পণ বা লেন্সের অক্ষের খুব কাছাকাছি আপতিত হইয়াছে।

দ্বিতীয় শর্তটির অর্থ এই যে, লেন্স বা দর্পণের উন্মেষ (aperture) খুব ছোট। প্রথম শর্ত-অনুসারে রৈখিক লক্ষ্যবস্তু (object)-টির দৈর্ঘ্যও খুব ছোট হইতে হইবে।

যে-সকল রশ্মি অক্ষের কাছাকাছি অঞ্চলে আপতিত হয় উহাদিগকে অক্ষাংশীয় রশ্মি (paraxial rays) এবং যে-সকল রশ্মি অক্ষাংশল হইতে দূরে আপতিত হয় উহাদিগকে প্রান্তীয় রশ্মি (marginal rays) বলা হয়। অক্ষাংশ তত্ত্বে (paraxial theory) আমরা ধরিয়া লই যে, বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠনে শুধু অক্ষাংশীয় রশ্মিগুলিই অংশ গ্রহণ করে। বাস্তব ক্ষেত্রে উপরের সরলকারী শর্তগুলি সম্পূর্ণভাবে পালিত হয় না বলিয়া প্রতিবিম্বের নানারূপ ত্রুটি (defects) দেখা যায়।

ইহা ছাড়া, আলোক-মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মান বিভিন্ন বর্ণের আলোর ক্ষেত্রে বিভিন্ন। সুতরাং, একটি লক্ষ্যবস্তুকে লেন্সের অক্ষের কোন একটি স্থানে রাখিলে বিভিন্ন বর্ণের আলো বিভিন্ন স্থানে ঐ বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। সুতরাং, সাদা আলো বা অন্য কোন বিমিশ্র বহু-বর্ণী আলো (polychromatic light) দ্বারা প্রতিবিম্ব গঠন করিলে প্রতিবিম্বটি ত্রুটিপূর্ণ হইবে। একবর্ণী আলো ব্যবহার করিলে এইরূপ ত্রুটির সম্ভাবনা নাই।

লেঙ্গ বা দর্পণের অপেরেশন (Aberration of lens or mirror) : লেন্স বা দর্পণের উন্মেষ বড় হইলে বা উহাদের উপর প্রান্তীয় রশ্মি আপতিত হইলে উহারা ত্রুটিহীন প্রতিবিম্ব গঠন করিতে পারে না। দর্পণ ও লেন্সের এই ত্রুটিকে উহাদের অপেরেশন (aberrations) আখ্যা দেওয়া হয়। লেন্স বা দর্পণে কোন আনত একবর্ণী রশ্মি আপতিত হইলে বা অক্ষ হইতে দূরবর্তী অঞ্চলে কোন একবর্ণী আলোক-রশ্মি আপতিত হইলে প্রতিসরণ বা প্রতিফলনের ফলে যে-প্রতিবিম্ব গঠিত হয় উহাতে প্রধানত পাঁচটি ত্রুটি দেখা যায়। ইহাদের একবর্ণী অপেরেশন (monochromatic aberrations) বলা হয়। জার্মান বিজ্ঞানী জাইডেল (Seidel) প্রথম প্রতিবিম্বের এই সকল ত্রুটির

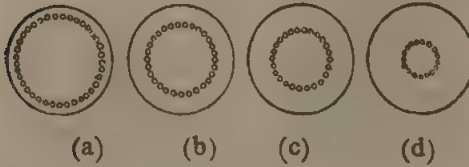


তাত্ত্বিক আলোচনা করেন বলিয়া ইহাদের জাইডেল অপেরন (Seidel aberrations)-ও বলা হয়; এই অপেরনগুলির নাম এইরূপ : (i) গোলকাপেরন (spherical aberration)। (ii) আস্টিগ্‌ম্যাটিজম (astigmatism); (iii) কোমা (coma); (iv) বক্রতাপেরন বা কারভেচার (curvature); (v) বিকৃতি (distortion)। ইহাদের মধ্যে একমাত্র গোলকাপেরনই আমাদের আলোচ্য।

### 5.17 গোলকাপেরন (Spherical aberration)

গোলকাপেরন-সংক্রান্ত আলোচনায় প্রবেশ করিবার পূর্বে বৃহৎ উন্মেষ-বিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্সের সাহায্যে একটি সহজ পরীক্ষার আলোচনা করা যাক।

একই ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট কয়েকটি গোলাকার ধাতব চাক্‌তি লওয়া হইল। চাক্‌তি-

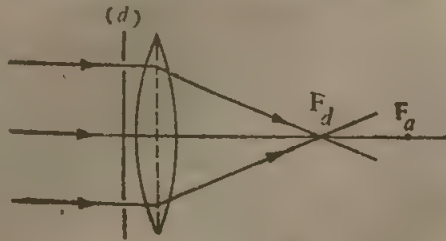


চিত্র 5.31

গুলির উপর বিভিন্ন ব্যাসার্ধের বৃত্ত বরাবর কয়েকটি ছিদ্র রহিয়াছে। 5.31 নং চিত্রের (a), (b), (c), (d) অংশে চারটি বিভিন্ন চাক্‌তি দেখান হইয়াছে। স্পষ্টতই বিভিন্ন

চাক্‌তির ছিদ্রগুলি বিভিন্ন ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট বৃত্তের পরিধির উপর অবস্থিত।

এই চাক্‌তিগুলিকে একে একে একটি উত্তল লেন্সের সম্মুখে রাখিয়া অক্ষের সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ দিয়া আলোকিত করিলে ছিদ্রগুলির মধ্য দিয়া যে-আলোক-রশ্মিগুলি বাহির হইয়া আসিবে কেবলমাত্র উহারাই লেন্সের গায়ে আপতিত হইবে (চিত্র 5.32)। চাক্‌তিগুলিকে এমনভাবে রাখিতে হইবে যাহাতে ছিদ্রগুলি যে-বৃত্তের পরিধি বরাবর আছে উহার কেন্দ্র লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর থাকে।



চিত্র 5.32

সুতরাং, কোন একটি চাক্‌তির মধ্য দিয়া যে-রশ্মিগুলি বাহির হইয়া আসিবে উহার অক্ষ হইতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে লেন্সের গায়ে আপতিত হইবে। রশ্মিগুলি প্রধান অক্ষের সমান্তরাল বলিয়া উহার প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষে আসিয়া মিলিত হইবে।

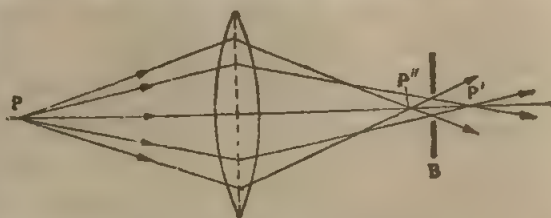
(d)-চাক্‌তিটির ছিদ্রগুলি অক্ষাংশ হইতে দূরে অবস্থিত বলিয়া ইহার মধ্য দিয়া শুধু প্রান্তীয় রশ্মিগুলি (marginal rays) বাহির হইয়া আসিবে। মনে করা যাক, ইহারা অক্ষের  $F_d$ -বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হইয়াছে (চিত্র 5.32)। সুতরাং, প্রান্তীয় অঞ্চলের রশ্মিগুলির জন্য  $F_d$ -বিন্দুটি লেন্সের ফোকাস। (a)-চাক্‌তির ছিদ্রগুলি অক্ষাংশের খুব কাছাকাছি বলিয়া ইহার মধ্য দিয়া শুধু অক্ষাংশীয় (paraxial) রশ্মিগুলিই বাহির হইয়া আসিবে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যাইবে যে, ইহার ফোকাস  $F_a$  বিন্দুতে মিলিত হইবে না, লেন্স হইতে আরও কিছুটা দূরে

$F_2$ -বিন্দুতে মিলিত হইবে। অন্য চাক্তিগুলির ক্ষেত্রে আলোক-রশ্মিগুলি  $F_2$  এবং  $F_2$ -এর মাঝামাঝি অঞ্চলে আসিয়া মিলিত হইবে।

এই পরীক্ষা হইতে সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, কোন লেন্সের বিভিন্ন অঞ্চলের (zones) ফোকাস-দূরত্ব এক নয়—অক্ষাংশের ফোকাস-দূরত্ব সর্বাপেক্ষা বেশি, যে অঞ্চল অক্ষ হইতে যত দূরে সেই অঞ্চলের ফোকাস-দূরত্ব তত কম।

কাজেই, লেন্সের অক্ষের কোন বিন্দুতে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের বিভিন্ন অঞ্চলের মধ্য দিয়া গেলে প্রতিসরণের পর এক বিন্দুতে মিলিত হয় না। আপতিত রশ্মির নতি যত বাড়ি প্রতিসৃত রশ্মি তত লেন্সের নিকটে সরিয়া আসে। ধরি, P একাটি বিন্দু-উৎস। P-বিন্দু হইতে অপসৃত হইয়া যে-রশ্মিগুলি লেন্সের অক্ষ বেষ্টিয়া যায় উহারা প্রতিসরণের পর P' বিন্দুতে মিলিত হইয়া ঐ বিন্দুতে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠন করে (চিত্র 5.33)। কিন্তু

যে-আলোক-রশ্মি গুলি লেন্সের প্রান্ত বেষ্টিয়া যায়, উহারা প্রতিসরণের পর P"-বিন্দুতে মিলিত হয়। এই রশ্মিগুলি P"-বিন্দুতে মিলিত হইয়া পুনরায় অপসারী শব্দ



চিত্র 5.33

গঠন করে। ফলে অক্ষাংশীয় রশ্মিগুলি যে-বিন্দুতে প্রতিবিম্ব গঠন করিয়াছে সেখানে কোন পর্দা রাখিলে বিন্দু-প্রতিবিম্বের বদলে একটি আলোক-বৃত্ত (illuminated disc) পাওয়া যাইবে। কেন্দ্রাংশে ইহার উজ্জ্বল্য বেশি, যত পার্শ্বাংশ দিকে যাওয়া যায় দীপনমাত্রা (illumination) তত কমিতে থাকে। পর্দার কোন অবস্থানেই প্রতিবিম্বটি বিন্দুবৎ হইবে না। প্রতিবিম্ব গঠনকারী লেন্সের এই ত্রুটিকেই গোলকাপেরণ বলা হয়।

পর্দাটিকে P'-বিন্দু হইতে সরাইয়া লেন্সের দিকে আনিতে থাকিলে আলোকবৃত্তটির আকার ও প্রকৃতি পরিবর্তিত হইতে থাকে। পর্দাটি যখন B-অবস্থানে থাকে তখন আলোকবৃত্তটি সর্বাপেক্ষা ছোট হয়। এই বৃত্ত সর্বত্র সমান দীপ্তিসম্পন্ন। ইহাই আদর্শ প্রতিবিম্বের নিকটতম অনুরূপ (nearest approach)। এই বৃত্তকে ন্যূনতম সংশয় বৃত্ত (circle of least confusion) বলা হয়। এই বৃত্তের ব্যাসার্ধকে লেন্সের পার্শ্বীয় গোলকাপেরণ (lateral spherical aberration)-এর মান বলিয়া ধরা হয়।

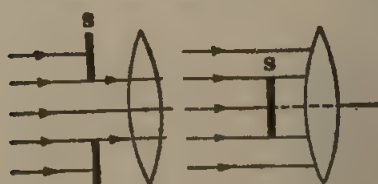
অক্ষাংশিত বিন্দু-বৃত্ত P হইতে অপসৃত রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের মধ্য দিয়া গেলে অক্ষাংশীয় রশ্মিগুলি P'-বিন্দুতে এবং প্রান্তীয় রশ্মিগুলি P"-বিন্দুতে প্রতিবিম্ব গঠন করে। P'P" দূরত্বকে লেন্সের অনুদৈর্ঘ্য গোলকাপেরণ (longitudinal spherical aberration) বলা হয়।

এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, দর্পণের ক্ষেত্রেও এই অপেরণ দেখা যায়।

## 5.18 গোলকাপেরণের প্রতিবিধান

(Remedy of spherical aberration)

(1) স্টপের ব্যবহার : সমগ্র লেন্স বা দর্পণ যদি প্রতিবিম্ব গঠনের কাজ করে তবে গোলকাপেরণ দেখা যায়। কিন্তু যদি শুধুমাত্র অক্ষাংশলীর আলোক-রশ্মি কিংবা যদি শুধুমাত্র প্রান্তীয় আলোক-রশ্মি প্রতিবিম্ব গঠন করে তবে গোলকাপেরণ দূরীভূত হইবে। সুতরাং, লেন্সের অক্ষের কাছাকাছি সামান্য অংশ উন্মুক্ত রাখিয়া বাকি অংশ অশুদ্ধ ধাতব চাকতির দ্বারা ঢাকিয়া দিলে গোলকাপেরণ হ্রাস পাইবে (চিত্র 5.34 a)। তবে, ইহাতে প্রতিবিম্বের ঔজ্জ্বল্য কমিয়া যায়। তাহা ছাড়া, বস্তুর অতি সূক্ষ্ম অংশগুলি প্রতিবিম্বে ধরা পড়ে না। আলোক-বিজ্ঞানের ভাষায় বলা যায়, ইহাতে লেন্সের



(a)

(b)

চিত্র 5.34

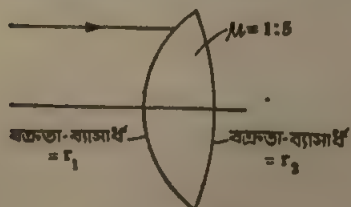
বিশ্লেষণী ক্ষমতা (resolving power) হ্রাস পায়। লর্ড র‍্যালের স্টপের ব্যবহারের একটি বিকল্প পদ্ধতির প্রস্তাব করিয়া ছিলেন। এই পদ্ধতিতে শুধুমাত্র প্রান্তীয় রশ্মিগুলিই প্রতিবিম্ব গঠনে অংশ গ্রহণ করিতে পারে। স্টপের সাহায্যে অক্ষাংশলীর রশ্মিগুলিকে আটকাইয়া দেওয়া হয় (চিত্র 5.34 b)। ইহাতে লেন্সের গোলকাপেরণ

হ্রাস পায়, কিন্তু ইহার বিশ্লেষণী ক্ষমতা হ্রাস পায় না।

(2) বৃক্ষ লেন্সের ব্যবহার : অপসারী লেন্স এবং অভিসারী লেন্সের গোলকাপেরণ বিপরীত চিহ্নবিশিষ্ট। সুতরাং, একটি অপসারী ও একটি অভিসারী লেন্সের সাহায্যে একটি যুগ্ম-লেন্স (doublet) গঠন করিয়া গোলকাপেরণ দূর করা যায়। এক্ষেত্রে লেন্সদ্বয়ের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক অসমান হওয়া প্রয়োজন।

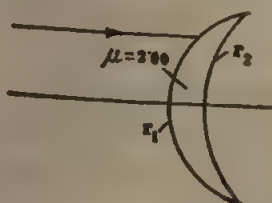
(3) ক্রশ্জ লেন্সের ব্যবহার : কোন লেন্সের গোলকাপেরণের মান উহার দুই পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ এবং প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে।

দেখান যায় যে, প্রতিসরাঙ্কের মান 1.5 হইলে দুই পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ  $r_1$  এবং  $r_2$ -এর অনুপাত যখন  $-\frac{1}{2}$  তখন গোলকাপেরণের মান নূনতম হইবে (চিত্র 5.35 a)।  $r_1$  এবং  $r_2$ -এর অনুপাত ঋণাত্মক। উভোত্তল লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্র



$$r_1 : r_2 = 1 : 6$$

চিত্র 5.35 (a)



$$r_1 : r_2 = 1 : 3$$

চিত্র 5.35 (b)

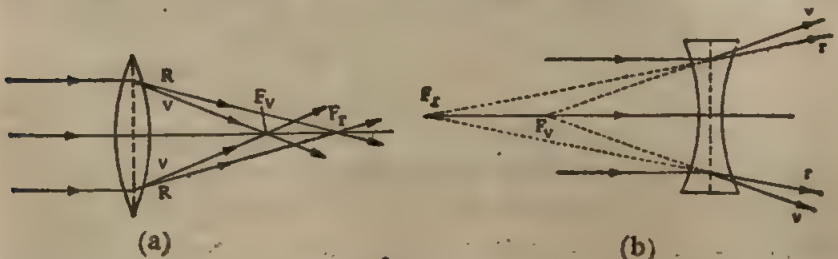
দুই দিকে বলিয়া এতদূর আকৃতির লেন্সের দুই বক্রতা-ব্যাসার্ধের অনুপাত ঋণাত্মক (চিত্রের

রীতি অনুসারে  $r_1$  ঋণাত্মক এবং  $r_2$  ধনাত্মক)। সুতরাং, 1.5 প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট কোন আলোক-মাধ্যমের সাহায্যে যদি এমন কোন উভোত্তল লেঙ্গ তৈয়ারী করা যায় বাহার  $r_1$  এবং  $r_2$ -এর অনুপাত 1 : 6, তাহা হইলে এইরূপ লেঙ্গের গোলকাপেরণ ন্যূনতম হইবে। অনুরূপভাবে দেখান যায় যে, যদি প্রতিসরাঙ্কের মান 2.0 হয় তবে  $r_1/r_2$ -এর মান  $\frac{1}{2}$  হইলে গোলকাপেরণ সর্বনিম্ন হইবে। এখানে  $r_1/r_2$ -এর মান ধনাত্মক বলিয়া লেঙ্গের বক্রতা-কেন্দ্র দুইটি একই দিকে থাকিবে (চিত্র 5.35 b)। এইরূপ লেঙ্গকে মেনিস্কাঙ্ক (meniscus) লেঙ্গ বলে। ব্যাসার্ধ দুইটির অনুপাত নির্দিষ্ট রাখিয়া যে-সকল লেঙ্গের গোলকাপেরণ ন্যূনতম করা হয় তাহাদিগকে কন্সট্রাক্ট লেঙ্গ বলে।

### 5.19 বর্ণাভেদ (Chromatic aberration)

কোন লেঙ্গের ফোকাস-দূরত্ব উহার মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এবং উহার দুই পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধের উপর নির্ভর করে। কোন আলোক-মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোর বর্ণের উপর নির্ভরশীল বলিয়া বিভিন্ন বর্ণের আলোর জন্য কোন একটি লেঙ্গের ফোকাস-দূরত্ব বিভিন্ন হইবে। এখন, কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হইবে তাহা লেঙ্গের ফোকাস-দূরত্বের উপর নির্ভর করে বলিয়া নির্দিষ্ট বস্তুকে বিভিন্ন বর্ণের আলোর সাহায্যে আলোকিত করিলে উহার প্রতিবিম্ব বিভিন্ন অবস্থানে গঠিত হইবে। সুতরাং, সাদা আলো (সাত রঙের মিশ্রণ) বা অন্য কোন বহুবর্ণী আলোর সাহায্যে কোন বস্তুকে আলোকিত করিলে ভিন্ন ভিন্ন বর্ণের আলো ভিন্ন ভিন্ন স্থানে বস্তুটির প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। ইহার ফলে প্রতিবিম্বটি টুটিপূর্ণ হইবে। লেঙ্গের বিচ্ছুরণ-ক্ষমতাই এই টুটির কারণ। ইহাকে লেঙ্গের বর্ণাভেদ বলা হয়।

5.36 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে যে, প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরালভাবে উত্তল লেঙ্গের উপর আপতিত বেগুনী আলোক-রশ্মিগুলি  $F_v$ -বিন্দুতে আসিয়া এবং লাল বর্ণের



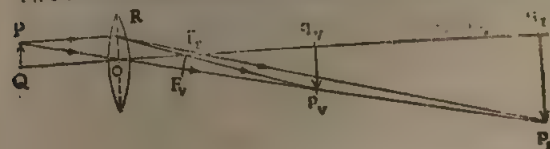
চিত্র 5.36

আলোক-রশ্মিগুলি  $F_r$ -বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয় (চিত্র 5.36a)। অবতল লেঙ্গের উপর পড়িলে বেগুনী রশ্মিগুলিকে  $F_v$ -বিন্দু হইতে এবং লাল রশ্মিগুলিকে  $F_r$ -বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে (চিত্র 5.36b)। দুই ক্ষেত্রেই  $F_v$ -বিন্দুটি  $F_r$ -হইতে লেঙ্গের নিকটবর্তী। অন্য রঙের রশ্মিগুলির জন্য লেঙ্গের ফোকাস  $F_v$  এবং  $F_r$ -এর মধ্যে থাকিবে।  $F_v$ -বিন্দুতে পর্দা রাখিলে কেন্দ্রে একটি বেগুনী বিন্দু এবং উহাকে ঘিরিয়া অন্যান্য রঙের কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্ত পাওয়া যাইবে। অনুরূপভাবে,  $F_r$ -এ পর্দা



রাখিলে প্রতিবিম্বের কেন্দ্রটি লাল হইবে, উহাকে ঘিরিয়া অন্য রঙের সমকেন্দ্রিক বৃত্ত পাওয়া যাইবে।

মনে করি, PQ-বস্তুটি সাদা আলোর দ্বারা আলোকিত। P বিন্দু হইতে অক্ষের সমান্তরাল PR আলোক-রশ্মিটি লেন্সের দ্বারা প্রতিসরণের ফলে সারাটি রঙে বিচ্ছুরিত



হইয়া পড়িবে (চিত্র 5.37)। বেগুনী

আলোর বিচ্যুতি

সর্বাপেক্ষা বেশি এবং

লাল আলোর বিচ্যুতি

সর্বাপেক্ষা কম হইবে।

চিত্র 5.37

বেগুনী আলোর জন্য লেন্সের ফোকাস  $F_v$  এবং লাল আলোর জন্য লেন্সের ফোকাস  $F_v'$  হইলে,  $OF_v < OF_v'$  হইবে। বহুবর্ণী PR-রশ্মি লেন্সের R-বিন্দুতে আসিয়া পড়িলে বিচ্ছুরিত বেগুনী রশ্মি  $RF_v$ -পথে এবং বিচ্ছুরিত লাল রশ্মি  $RF_v'$ -পথে অগ্রসর হইবে। লেন্সের আলোক-কেন্দ্র O-বিন্দু দিয়া অগ্রসর হইয়া PO-রশ্মি সোজাসুজি লেন্স হইতে বাহির হইয়া আসিবে, সুতরাং এই রশ্মির কোন বিচ্ছুরণ বা বিচ্যুতি হইবে না (লেন্সটি ক্ষীণ ধরিয়া)। প্রতিসৃত রশ্মিগুলি মিলিত হইয়া  $p_v$ -বিন্দুতে P-বিন্দুর বেগুনী বর্ণের প্রতিবিম্ব এবং  $p_v'$ -বিন্দুতে লাল বর্ণের প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। অর্থাৎ,  $p_v, q_v$  বেগুনী আলোর দ্বারা গঠিত এবং  $p_v', q_v'$  লাল আলোর দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব। অন্যান্য বর্ণের (বেগুনী ও লাল রঙের মধ্যবর্তী সবুজ, হলুদ, নীল ইত্যাদি) আলো  $q_v$  এবং  $q_v'$  বিন্দুর মধ্যবর্তী অঞ্চলে ভিন্ন ভিন্ন প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। চিত্রে  $p_v, q_v$  এবং  $p_v', q_v'$ -এর ব্যবধানকে বাস্তব ক্ষেত্র অপেক্ষা অনেকগুণ বর্ধিত করিয়া দেখান হইয়াছে। এই ব্যবধান  $q_v, q_v'$ -কে অনুদৈর্ঘ্য বর্ণাশয়ের (longitudinal chromatic aberration) এবং  $p_v, q_v$  ও  $p_v', q_v'$  প্রতিবিম্বদ্বয়ের উচ্চতার ব্যবধানকে পার্শ্বীয় বর্ণাশয়ের (lateral chromatic aberration) বলে।

● **অবার্ণ যুগ্ম-লেন্স :** (Achromatic doublet) : কেবলমাত্র একটি লেন্স ব্যবহার করিয়া বর্ণাশয়ের এড়ান যায় না, কিন্তু উপযুক্ত দুইটি লেন্সকে পাশাপাশি স্থাপন করিয়া এমন যুগ্ম লেন্স গঠন করা সম্ভব যাহার বর্ণাশয়ের উপেক্ষণীয়। উত্তল লেন্স এবং অবতল লেন্সের বর্ণাশয়ের পরস্পর বিপরীতধর্মী। কাজেই, একটি মাধ্যমের তৈয়ারী উত্তল লেন্স এবং অপর একটি মাধ্যমের তৈয়ারী অবতল লেন্স যুক্ত করিয়া বর্ণাশয়ের মুক্ত যুগ্ম-লেন্স গঠন করা যায়। এই যুগ্ম-লেন্সকে অবার্ণ যুগ্ম-লেন্স বলা হয়।

### উত্তল-বহুকেন্দ্র

কোন স্বচ্ছ মাধ্যমের একাংশ নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকারের দুইটি তল দ্বারা সীমাবদ্ধ হইলে উহাকে লেন্স বলা হয়। লেন্স প্রধানত দুই প্রকার—(i) উত্তল লেন্স এবং (ii) অবতল লেন্স।

কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব বলিতে আমরা লেন্সটির আলোক-কেন্দ্র হইতে উহার দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে বুঝি।

কোন লেন্সের আলোক-কেন্দ্র ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত একটি নির্দিষ্ট বিন্দু।

লেঙ্গের আলোক-কেন্দ্র এবং ফোকাসের ধর্ম কাজে লাগাইয়া জ্যামিতিক অঙ্কনের সাহায্যে লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ধারণ করা যায়।

আমাদের অনুসৃত চিহ্নের রীতি অনুসারে, আপতিত রশ্মি যে-দিকে যাইতেছে উহার বিপরীত দিকে যে-সব দূরত্ব মাপা হয় সেইগুলি ধনাত্মক এবং আপতিত রশ্মির অভিমুখে যে-সব দূরত্ব মাপা হয় সেইগুলি ঋণাত্মক।

লেঙ্গের ফোকাস-দূরত্ব, লেন্স হইতে বস্তুর এবং প্রতিবিম্বের দূরত্বের সম্পর্কটি নিম্নরূপ :

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

এখানে,  $u$  = বস্তু-দূরত্ব,  $v$  = প্রতিবিম্ব-দূরত্ব এবং  $f$  = ফোকাস-দূরত্ব।

প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য এবং বস্তুর দৈর্ঘ্যের অনুপাতকে রৈখিক বিবর্ধন বলা হয়। দেখান যায় যে,

$$\text{রৈখিক বিবর্ধন} = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দূরত্ব}}{\text{বস্তুর দূরত্ব}}$$

উত্তল লেন্স-কর্তৃক সদ্বিষ্ম গঠিত হইতে পারে, অসদ্বিষ্ম গঠিত হইতে পারে। অবতল লেন্স সর্বদা অসদ্বিষ্ম গঠন করে। বস্তু-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের বেশি হইলে উত্তল লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব সদ্বিষ্ম হইবে। বস্তু-দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের কম হইলে উত্তল লেন্স অসদ্বিষ্ম গঠন করিবে। বস্তু এবং লেন্স-কর্তৃক গঠিত সদ্বিষ্মের ন্যূনতম দূরত্ব ফোকাস-দূরত্বের চারগুণ।

যে-উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব যত কম উহার অভিসরণ-ক্ষমতা তত বেশি। যে-অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব যত কম উহার অপসরণ-ক্ষমতা তত বেশি। কোন লেন্সের ক্ষমতাকে উহার ফোকাস-দূরত্বের অন্ব্যোব্যক বলিয়া ধরা হয়।

লেঙ্গের দুই পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ যথাক্রমে  $r_1$  এবং  $r_2$  হইলে এবং লেন্সের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক  $\mu$  হইলে উহার ফোকাস-দূরত্ব  $f$  নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় ;

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

লেঙ্গের ক্ষমতার একক ডাইঅপ্টার। উত্তল লেন্সের ক্ষমতাকে ধনাত্মক এবং অবতল লেন্সের ক্ষমতাকে ঋণাত্মক ধরা হয়। এই রীতি অনুসারে,

$$\text{লেঙ্গের ক্ষমতা, } P = - \frac{100}{f \text{ (cm)}} \text{ ডাইঅপ্টার}$$

## প্রশ্নাবলী 5

### কুদ্রোত্তর প্রশ্নাবলী

1. যদি আদৌ সম্ভব হয় তাহা হইলে কোন্ শর্ত পালিত হইলে উত্তল লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব (i) বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর এবং অবশীর্ষ হইবে, (ii) বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর এবং সমশীর্ষ হইবে ?

2. উত্তল লেন্সকে 'অভিসারী লেন্স' এবং অবতল লেন্সকে 'অপসারী লেন্স' বলা হয় কেন ?

3. জলের মধ্যে বায়ু-বুদ্বুদ কীৰূপ লেন্সের মত আচরণ করিবে ?

4. গোলায় দপ'ণের ফোকাস একটি, কিন্তু লেন্সের ফোকাস দুইটি। ইহার কারণ কী ?

5. একটি লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব (i) আপাতিত আলোর বর্ণের উপর এবং (ii) লেন্সটির চতুর্দিকের মাধ্যমের উপর কীৰূপে নির্ভর করে ? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

6. একটি পাতলা উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব মাপিতে নীল আলোর পরিবর্তে লাল আলো ব্যবহার করিলে ফোকাস-দূরত্বের মান বাড়িবে, কমিবে, নাকি অপরিবর্তিত থাকিবে ?

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1973]

7.  $\mu$  প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট কোন মাধ্যমে তৈয়ারী একটি অবতল লেন্সকে এমন একটি মাধ্যমে নিমজ্জিত রাখা হইল যাহার প্রতিসরাঙ্ক (i)  $\mu$  অপেক্ষা বেশি, (ii)  $\mu$ -এর সমান এবং (iii)  $\mu$  অপেক্ষা কম। যখন লেন্সটির উপর একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ আপাতিত হয় তখন উপরি-উক্ত প্রতিটি ক্ষেত্রে রশ্মিগুলির নিষ্করণ-পথ নির্দেশ কর।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1973]

8. একটি উত্তল লেন্সকে এমন একটি মাধ্যমে রাখা হইল যাহার প্রতিসরাঙ্ক লেন্সটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা বেশি। এই ক্ষেত্রে উত্তল লেন্সটি কি অভিসারী লেন্সের মত ক্রিয়া করিবে ? যুক্তিসহ উত্তর দাও।

9. লেন্সটি কোন্ মাধ্যমে নিমজ্জিত আছে তাহার উপর লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব নির্ভর করে কি ? ব্যাখ্যাসহ উত্তর দাও।

10. একই আকারের প্রতিবিম্ব পাইতে হইলে কোন বস্তুকে একটি উত্তল লেন্স হইতে কত দূরে রাখিতে হয় ? অবতল লেন্সের সাহায্যে বস্তুর সমান আকারের প্রতিবিম্ব গঠন করা কি সম্ভব ?

11. কোন সমতলোত্তল লেন্সের আলোক-কেন্দ্রটি কোথায় অবস্থিত ?

12. কোন লেন্সের ধারের দিকে একাংশ ভাঙিয়া গেলে লেন্সটির ফোকাস-দূরত্বের কী পরিবর্তন হইবে ?

13. কোন লেন্সের ধারে বলয়াকার কালো কাগজ লাগাইয়া কেবলমাত্র লেন্সটির মধ্যবর্তী অংশ উন্মুক্ত রাখিলে উহার ফোকাস-দূরত্বের কীৰূপ পরিবর্তন হইবে ?

14. দুইটি অভিসারী লেন্সকে কীৰূপে স্থাপন করিলে একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ ঐ লেন্স দুইটির মধ্য দিয়া গিয়া পুনরায় সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয় ?

15. একটি অবতল লেন্সের সম্মুখে কোন বস্তু রাখা হইল। কোথায় বস্তুটির প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে ?

16. একটি উভয়দিক কণিবেধ লেন্স-কর্তৃক প্রতিসৃত হইবার পর একটি আলোক-রশ্মি BC-



চিত্র 5.38

অক্ষনের সাহায্যে নির্ণয় কর।

এর গতিপথ কীৰূপ তাহা 5.38 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। F বিন্দুটি ঐ লেন্সের প্রধান ফোকাস এবং OO' রেখাটি ইহার প্রধান অক্ষ। রশ্মিটি লেন্সে পৌঁছিবার পূর্বে কোন পথে আসিতোছিল তাহা অ্যামিতিক

17. (i) নীল আলোর ক্ষেত্রে অভিসারী এবং অপসারী কাচের লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের তুলনায় লাল আলোর ক্ষেত্রে ইহাদের ফোকাস-দূরত্ব কীরূপ হইবে ?

(ii) লেন্সটি যে-মাধ্যমে নির্মাজিত রহিয়াছে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব উহার উপর নির্ভর করিবে কি ? করিলে, কীভাবে করিবে ? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

[উত্তর-সংক্ষেপ : (i) কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব উহার মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে। প্রতিসরাঙ্ক যত বেশি হয় লেন্সের অভিসরণ-ক্ষমতা বা অপসরণ-ক্ষমতা তত বেশি হয়, অর্থাৎ ফোকাস-দূরত্ব তত কম হয়। নীল আলোর ক্ষেত্রে একান মাধ্যমের (যেমন, কাচের) প্রতিসরাঙ্ক লাল আলোর ক্ষেত্রে উহার প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা বেশি হয়। কাজেই, নীল আলোর ক্ষেত্রে কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব লাল আলোর ক্ষেত্রে উহার ফোকাস-দূরত্ব অপেক্ষা কম।

(ii) শূন্যস্থানে কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব উহার পরম প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে। এই সময় কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের মান সর্বনিম্ন। অন্য কোন মাধ্যমে নির্মাজিত অবস্থায় কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব ঐ মাধ্যমের সাপেক্ষে লেন্সের উপাদানের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে। কোন বাস্তব মাধ্যমের সাপেক্ষে কোন লেন্সের উপাদানের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক সর্বদাই উহার পরম প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা কম। কাজেই, শূন্যস্থানে কোন লেন্সের ফোকাস-দূরত্বের যে-মান হইবে কোন বাস্তব মাধ্যমে নির্মাজিত অবস্থায় উহার ফোকাস-দূরত্ব তদপেক্ষা বেশি হইবে।

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

18. (a) লেন্স বলিতে কী বুঝ ? উত্তল ও অবতল লেন্সের পার্থক্য কী ? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1964] (b) ইহাদিগকে যথাক্রমে অভিসারী এবং অপসারী লেন্স বলা হয় কেন তাহা চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983]

19. লেন্সের আলোক-কেন্দ্র, ফোকাস, ফোকাস-দূরত্ব বলিতে কী বুঝ ? জ্যামিতিক পদ্ধতিতে লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান স্থির করিতে লেন্সের কোন্ কোন্ ধর্ম কাজে লাগান হয় ?

20. কোন ক্ষীণবেধ উত্তল লেন্সের প্রথম এবং দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস, ফোকাস-দূরত্ব, আলোক-কেন্দ্র এবং ক্ষমতার সংজ্ঞা লিখ। বস্তু এবং উত্তল লেন্সের মধ্যবর্তী দূরত্ব অসীম হইতে শুরু করিয়া প্রায় শূন্য পর্যন্ত পরিবর্তন করিলে প্রতিবিম্বের প্রকৃতির কীরূপ পরিবর্তন হইবে তাহা চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

21. (a) উত্তল ও অবতল লেন্সকে যথাক্রমে অভিসারী এবং অপসারী লেন্স বলা হয় কেন ? চিত্রসহযোগে উহাদের পার্থক্য উল্লেখ কর।

(b) উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব পরীক্ষাগারে কীভাবে নির্ণয় করা হয় বর্ণনা কর।

(c) লেন্সের ক্ষমতা কী ? একটি লেন্সের ক্ষমতা  $+2D$  হইলে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব কত ?

(d) একটি উত্তল লেন্সের দ্বারা কীভাবে (i) একটি সদ্ ও বিবর্ষিত প্রতিবিম্ব এবং (ii) একটি অসদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হয় চিত্রসহযোগে বুঝাইয়া দাও।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1987]



22. (a) লেন্স কাহাকে বলে? লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব বলিতে কী বুঝ? (b) উত্তল-লেন্সকে অভিসারী ও অবতল লেন্সকে অপসারী বলা যায় কেন? উত্তল লেন্সের দ্বারা বিবর্তিত অসদৃ প্রতিবিম্ব গঠনের সচিত্র ব্যাখ্যা দাও। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1979]

(c) উত্তল লেন্সের সাহায্যে কীভাবে একটি বস্তুর সমান আকারের সদৃবিম্ব পাওয়া যায় পরিষ্কার চিত্রের সাহায্যে বুঝাও।

23. (a) চিত্রসহ আলোক-কেন্দ্র এবং ফোকাস-তল কাহাকে বলে বুঝাইয়া লিখ। (b) লেন্সের ক্ষেত্রে  $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$  এই সূত্রটি প্রতিষ্ঠা কর। এখানে  $u$ ,  $v$  এবং  $f$  প্রচলিত অর্থে ব্যবহৃত হইয়াছে। (c) লেন্সের ক্ষমতা বলিতে কী বুঝায়? 10 cm ফোকাস-দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্সের ক্ষমতা কত? [10 D]

24. (a) লেন্সের আলোক-কেন্দ্রের সংজ্ঞা লিখ। (b) উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে  $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$  সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর। এখানে  $u$ ,  $v$  এবং  $f$  প্রচলিত অর্থে ব্যবহৃত। (c) লেন্সের ক্ষমতা বলিতে কী বুঝায়? একটি অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব 20 cm। উহার ক্ষমতা কত? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981] [-5D]

25. একটি উত্তল লেন্স-কর্ডক কীভাবে নিম্নোক্ত ক্ষেত্রগুলিতে একটি বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা আলোক-রশ্মি চিত্র আঁকিয়া দেখাও :

যখন-বস্তুটি (i) লেন্সের আলোক-কেন্দ্র ও মুখ্য ফোকাসের মধ্যে থাকে, (ii) লেন্স হইতে  $2f$  দূরত্বে থাকে এবং (iii)  $2f$  এবং অসীমের মধ্যে থাকে।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

26. (a) লেন্স প্রসঙ্গে প্রধান অক্ষ, প্রথম মুখ্য ফোকাস, দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস এবং ফোকাস-দৈর্ঘ্য কী ব্যাখ্যা কর। (b) কোন উত্তল লেন্সের একদিকে একটি বস্তু ও অন্যদিকে একটি পর্দা আছে। দেখাও যে, বস্তু ও পর্দার দূরত্ব লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের 4 গুণের বেশি হইলে লেন্সের দুইটি অবস্থানে পর্দার বস্তুর সদৃবিম্ব গঠিত হইবে।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981]

(c) দেখাও যে, লেন্স-কর্ডক সদৃবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে বস্তু ও উহার সদৃবিম্বের ন্যূনতম দূরত্ব লেন্সটির ফোকাস-দৈর্ঘ্যের চার গুণের সমান।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983]

27. (a) একটি উভোত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত লম্বভাবে একটি বিস্তৃত বস্তুকে  $2f$  এবং অসীম দূরত্বের মধ্যে রাখা হইল। একটি পরিষ্কার চিত্রের সাহায্যে প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় কর। (b) লেন্সের পৃষ্ঠতল স্পর্শ না করিয়া উহা অবতল না উত্তল তাহা কীরূপে নির্ধারণ করিবে তাহা ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

28. (a) একটি অবতল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব, উৎস-দূরত্ব ও প্রতিবিম্ব-দূরত্বের সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর। (b) নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলিতে একটি উত্তল লেন্সের দ্বারা কীভাবে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা পরিষ্কার চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও : (i) যখন প্রতিবিম্ব সদ্ ও বিবর্তিত হয়, (ii) যখন প্রতিবিম্ব সদ্ ও বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হয় এবং (iii) যখন প্রতিবিম্ব অসদ্ হয়।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1979]

29. (a) কোন লেন্সের আলোক-কেন্দ্র কী? (b) বস্তু-দূরত্ব ( $u$ ) প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ( $v$ ) এবং ফোকাস-দূরত্ব ( $f$ ) সংবলিত লেন্সের সাধারণ সূত্রটি প্রতিষ্ঠা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978]

30. উত্তল লেন্স কীরূপে অসদৃশ্য ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে তাহা একটি চিত্রের সাহায্যে দেখাও। 'লেঙ্গ কতকগুলি ঋণ ঋণ প্রিজমের দ্বারা গঠিত সংস্থার ন্যায় ক্রিয়া করে'— এই উক্তিটি ব্যাখ্যা কর। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

31. লেন্সের গোলকাকার বস্তু কী বক্র ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978] যে-লেঙ্গের গোলকাকার বস্তু রহিয়াছে তাহার দ্বারা একটি বিন্দু বস্তু আলোক-উৎসের প্রতিবিম্ব গঠন করিলে প্রতিবিম্বটি কীরূপ হইবে বুঝাইয়া বল। গোলকাকার প্রতিবিধানের পদ্ধতিগুলি আলোচনা কর।

32. লেন্সের বর্ণাকার বস্তু কী বক্র? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981] যে-লেঙ্গের বর্ণাকার বস্তু রহিয়াছে তাহার সাহায্যে সাদা আলোতে আলোকিত কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করিলে উহা কীরূপ হইবে? চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া বল। অবর্ণ যুগ্ম-লেঙ্গ কাহাকে বলে?

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

33. 20 cm ফোকাস-দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্স হইতে 60 cm দূরে একটি বস্তু রাখিলে ইহার পিছনে সদৃশ গঠিত হয়। প্রতিবিম্বের অবস্থান এবং বিবর্ধন নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]

34. 4 cm উচ্চতাবিশিষ্ট একটি বস্তুকে 20 cm ফোকাস-দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স হইতে 100 cm দূরে রাখা হইল। প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও উচ্চতা নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978] [লেঙ্গ হইতে 25 cm দূরে, সদৃশ; অবর্ণাধ; 1 cm]

35. কোন উত্তল লেন্স হইতে 15 cm দূরে একটি বস্তু রাখিলে দ্বিগুণ বিবর্ধিত একটি সদৃশ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। বস্তুটিকে লেন্স হইতে কত দূরে রাখিলে উহার দ্বিগুণ বিবর্ধিত অসদৃশ্য গঠিত হইবে? [5 cm]

36. কোন পর্দা হইতে 6 ft দূরে একটি বস্তু রাখা আছে। বস্তুটির একটি তিনগুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পর্দায় ফেলিতে হইলে কী জাতীয় লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে? লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব কত হইবে? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1983] [উত্তল লেন্স, 1.125 ft]

37. একটি বস্তুকে 20 cm ফোকাস-দূরত্ব-বিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্স হইতে কত দূরে রাখিলে বস্তুটির তিনগুণ বিবর্ধিত সদৃশ গঠিত হইবে? [26.6 cm]

38. 20 cm ফোকাস-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দুইটি উত্তল লেন্স পরস্পর হইতে 10 cm দূরে বসান আছে। এই লেন্সদ্বয় সমাক্ষ। 2.5 cm দীর্ঘ একটি বস্তুকে প্রথম লেন্স হইতে 15 cm দূরে আঁকের সহিত লম্বভাবে বসান হইল। চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের আকার এবং অবস্থান নির্ণয় কর।

[বস্তুর বিপরীত দিকে দ্বিতীয় লেন্স হইতে 28 cm দূরে; 4 cm]

39. একটি বস্তুকে কোন উত্তল লেন্স হইতে এমন দূরে রাখা হইল যাহাতে লেন্স-কর্তৃক বস্তুটির সমান আকারের সদৃশ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। ইহার পর বস্তুটিকে লেন্সের দিকে 16 cm আগাইয়া আনা হইল। এইবার বস্তুটির তিনগুণ বিবর্ধিত সদৃশ গঠিত হইতে দেখা গেল। লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব কত? [ - 24 cm]

40. 30 এবং 40 cm ফোকাস-দূরত্ব-বিশিষ্ট দুইটি উত্তল লেন্স পরস্পর হইতে 60 cm দূরে বসান হইল। 10 cm দীর্ঘ একটি বস্তুকে ক্ষুদ্রতর ফোকাস-দূরত্বের লেন্সটি হইতে 40 cm দূরে স্থাপন করা হইল। লেন্স দুইটির দ্বারা গঠিত চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকার নির্ণয় কর।

[ দ্বিতল লেন্সের পিছনে 24 cm দূরে ; প্রতিবিম্বটি সদ্ ও অবশীর্ণ ; ইহার দৈর্ঘ্য 12 cm ]

41. একটি উত্তল লেন্স-কর্তৃক উহা হইতে 20 cm দূরে একটি বস্তুর সর্দাংগ গঠিত হইয়াছে। যখন একটি অবতল লেন্সকে উক্ত উত্তল লেন্স এবং পর্দার মাঝমাঝি উত্তল লেন্সটির 5 cm দূরে রাখা হয় তখন প্রতিবিম্ব 10 cm সরিয়া যায়। অবতল লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় কর।

[ জেরেট এংলিস, 1975 ] [ 37.5 cm ]

42. একটি পর্দা হইতে কিছু দূরে একটি বস্তু রাখা হইল। ইহাদের মাঝখানে একটি উত্তল লেন্স রাখিয়া দেখা গেল যে, লেন্সের দুইটি অবস্থানের জন্য পর্দায় বস্তুটির সর্দাংগ গঠিত হইতেছে। যদি লেন্সের এই দুই অবস্থানের দূরত্ব  $x$  হয় এবং বিবর্ধনের মান  $m_1$  এবং  $m_2$  হয় তাহা হইলে দেখাও যে, উত্তল লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব  $f = x/(m_1 - m_2)$ ।

43. 5 cm উচ্চতাবিশিষ্ট একটি বস্তুকে একটি উত্তল লেন্সের সম্মুখে রাখা হইল। ইহাতে লেন্স হইতে 100 cm দূরের একটি পর্দায় 25 cm উচ্চতাবিশিষ্ট একটি প্রতিবিম্ব গঠিত হইল। লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় কর। ( সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ) [ 16 cm ]

44. কোন বস্তু হইতে 15 cm দূরে একটি উত্তল লেন্স রাখিলে উহার সদ্ এবং চারগুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়। লেন্সটি কোথায় রাখিলে অসদ্ ও তিনগুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে ?

[ উচ্চ মাধ্যমিক (রিপূরা), 1979 ] [ বস্তু হইতে 8 cm দূরে ]

45. এক ফুট ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট উত্তল লেন্স হইতে কত দূরে একটি বস্তুকে বসাইলে (i) বস্তুর সমান দৈর্ঘ্যের একটি সর্দাংগ গঠিত হইবে, (ii) লেন্স হইতে 2 ft দূরে একটি অসর্দাংগ গঠিত হইবে ?

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1962 ] [ 2 ft, 8 inches ]

46. একটি লেন্সের ক্ষমতা 4 D, এই লেন্সের প্রকৃতি এবং ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় কর।

[ উত্তল লেন্স, 25 cm ]

47. একটি প্রদীপ এবং পর্দার দূরত্ব 49 cm ; 6 cm ফোকাস-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্সকে প্রদীপ এবং পর্দার মধ্যবর্তী কোন স্থানে বসাইলে পর্দার উপর প্রদীপের সর্দাংগ গঠিত হইবে ?

[ প্রদীপ হইতে 42 cm বা 7 cm দূরে ]

48. দুইটি বিন্দু-উৎসের দূরত্ব 24 cm। 9 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্সকে কোথায় রাখিলে উভয় উৎসের প্রতিবিম্ব একই বিন্দুতে গঠিত হইবে ? [ 6 cm, 18 cm ]

49. একটি বৈদ্যুতিক বাতি এবং একটি পর্দার দূরত্ব 1 m। 21 cm ফোকাস-দূরত্বের লেন্সকে কোন্ কোন্ স্থানে রাখিলে পর্দায় বাতিটির প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে ? লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব 26 cm হইলে পর্দায় কোন প্রতিবিম্ব গঠিত হইত কী ?

[ 70 cm, 30 cm, পর্দায় কোন প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে না ]

### অতিশক্তির গাণিতিক প্রশ্নাবলী :

50. সমাকভাবে স্থাপিত 30 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্স এবং 5 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি অবতল লেন্সের মধ্যবর্তী দূরত্ব 20 cm। উত্তল লেন্সটির সম্মুখে 6 m দূরে কোন বস্তু রাখিলে চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটি কোথায় গঠিত হইবে ?

[ জেরেট এংলিস, 1971 ] [ অবতল লেন্স হইতে 8.8 cm দূরে ]

51.  $f$  ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্সকে একটি বস্তু ও পর্দার মাঝামাঝি বসান হইল। পর্দার ও বস্তুর মধ্যবর্তী দূরত্ব  $x$  এবং পর্দার উপর লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের বিবর্ধন  $m$  হইলে দেখাও যে,  $f = mx/(1+m)^2$

52. 4 cm দীর্ঘ একটি বস্তুকে 60 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি অভিসারী লেন্সের বামদিকে উহা হইতে 30 cm দূরে অক্ষের লম্বভাবে স্থাপন করা হইল। 40 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট দ্বিতীয় একটি উত্তল লেন্সকে প্রথম লেন্সটির ডানদিকে সমান্তরালে উহা হইতে 20 cm দূরে রাখা হইল। অন্তিম প্রতিবিম্বটির অবস্থান, প্রকৃতি এবং আকার নির্ণয় কর।

[ দ্বিতীয় প্রতিবিম্বের পিছনে 80 cm দূরে, সদৃবিম্ব, 8 cm]

53. যখন একটি উত্তল লেন্সকে একটি শূন্য পাত্রে উপরে স্থাপন করা হইল তখন ঐ লেন্স হইতে 45 cm নিচে পাত্রের তলদেশে বিদ্যমান একটি মুদ্রার প্রতিবিম্ব লেন্সের 36 cm উপরে গঠিত হয়। যখন পাত্রটিকে 40 cm উচ্চতা পর্যন্ত তরল দ্বারা পূর্ণ করা হয় তখন লেন্স হইতে মুদ্রাটির প্রতিবিম্বের দূরত্ব হয় 48 cm। উক্ত তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1972] [1.366]

54. 10 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্সের বামপার্শ্বে 20 cm দূরে একটি বস্তু রাখা হইল। যদি লেন্সটির ডানপার্শ্বে উহা হইতে 30 cm দূরে 5 cm ফোকাস-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট একটি অবতল দর্পণ স্থাপন করা হয় তাহা হইলে চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের বিবর্ধন এবং প্রকৃতি নির্ণয় কর। রশ্মিচিত্র অঙ্কন কর এবং চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের অবস্থান দেখাও।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1974] [1, সদৃবিম্ব]

55. একটি পর্দা হইতে একটি বস্তুর দূরত্ব  $d$ । একটি উত্তল লেন্স পর্দাটির উপর বস্তুটির একটি প্রতিবিম্ব গঠন করে। যখন লেন্সটিকে পর্দার দিকে  $x$  দূরত্ব সরান হয় তখন পুনরায় পর্দার উপর একটি প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। দেখাও যে, এই দুই প্রতিবিম্বের আকারের অনুপাত  $\left(\frac{d-x}{d+x}\right)^2$ -এর সমান।

56. একটি বস্তুকে একটি উত্তল লেন্সের সম্মুখে উহা হইতে 66 cm দূরত্বে রাখিলে লেন্সের অপর পার্শ্বে 22 cm দূরত্বে স্থাপিত পর্দার একটি প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব কত?

এইবার পর্দাটিকে লেন্স হইতে আরও 5.5 cm দূরে সরান হইল। প্রতিবিম্বটিকে পুনরায় পর্দায় ফোকাসে আনিতে 33 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি অবতল লেন্সকে প্রথম লেন্স হইতে কতটা দূরে রাখিতে হইবে?

[16.5 cm, 11 cm]

57. 1 cm দীর্ঘ এবং 0.2 cm প্রস্থবিশিষ্ট একটি রেখাছদ্মকে একটি পর্দা হইতে 90 cm দূরে রাখা হইল। 20 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি কণীবৎস উত্তল লেন্সকে উহাদের মধ্যে রাখা হইল। লেন্সের যে-যে অবস্থানের জন্য পর্দার রেখাছদ্মটির সুস্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠিত হয় সেই অবস্থানগুলি নির্ণয় কর। এই দুই ক্ষেত্রে গঠিত প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রফলের অনুপাত নির্ণয় কর।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1962] [30 cm বা 60 cm ; 16 : 1]

58. যখন একটি বস্তুকে  $f$  দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্সের অক্ষে P অবস্থানে রাখা হয় তখন প্রতিবিম্বটি সমশীর্ষ হয়। যখন বস্তুটিকে সরাইয়া Q অবস্থানে আনা হয় তখন প্রতিবিম্বটি অবশীর্ষ হয়, কিন্তু প্রতিবিম্বের আকার পূর্বের সমান হয়। যদি বিবর্ধনের মান  $m$  হয় তাহা হইলে দেখাও যে,  $PQ = (2f/m)$ ।





## আলোর বিচ্ছুরণ

*So shines the setting sun on adverse skies, and paints a rainbow on the storm.*

—Watts

### 6.1 আলোর বিচ্ছুরণ

তোমরা নিশ্চয়ই রামধনু দেখিয়াছ এবং উহার সুন্দর বর্ণবিন্যাস দেখিয়া মুগ্ধ হইয়াছ। এই বর্ণগুলি কোথা হইতে আসে? বিজ্ঞানী আইজাক নিউটন প্রমাণ করিয়াছেন যে, এই বর্ণগুলি আসে সূর্যকিরণ হইতে। তিনি একটি কাচের প্রিজমের মধ্য দিয়া সূর্যকিরণ পাঠাইয়া উহাকে রামধনুর বিভিন্ন রঙে বিভক্ত করিয়া দেখাইয়াছিলেন এবং প্রমাণ করিয়াছিলেন যে, সাদা আলো প্রকৃতপক্ষে বৌগিক, ইহা সাতটি মূল বর্ণের আলোর সমষ্টি।

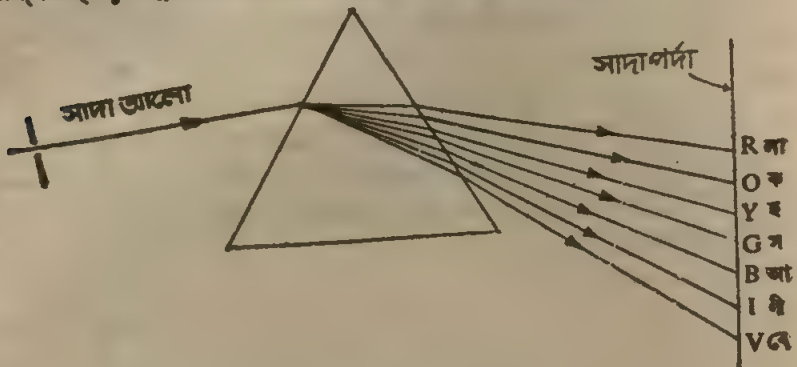
কোন বহুবর্ণী রশ্মি-গুচ্ছের বিভিন্ন বর্ণে বিভাজিত হওয়াকে আলোর বিচ্ছুরণ (dispersion) বলা হয়। স্বাভাবিক কেবলমাত্র বৌগিক আলোরই এইরূপ বিভাজন বা বিচ্ছুরণ সম্ভব। বিচ্ছুরণের ফলে বিভিন্ন বর্ণের ঘে-পটি (band) সৃষ্টি হয় তাহাকে বর্ণালী (spectrum) বলে।

একটি প্রিজমের মধ্য দিয়া সাদা আলো পাঠাইলে উহা বিচ্ছুরিত হয় কেন তাহা সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়। কোন আলোক-মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোর বর্ণের উপর নির্ভরশীল। কোন প্রিজমের মধ্য দিয়া আলো পাঠাইলে উহার বিচ্যুতি মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে। সুতরাং, বিভিন্ন বর্ণের আলো প্রিজমের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া বিভিন্ন বিচ্যুতি লইয়া প্রিজম হইতে নিষ্কাশিত হয় বলিয়া বিভিন্ন রঙের আলো আলাদা হইয়া বর্ণালীর সৃষ্টি করে।

### 6.2 প্রিজমের সাহায্যে সাদা আলোর বিচ্ছুরণ

একটি অল্প ছাড়া পাতের উপর আনুমানিক 1 সেন্টিমিটার লম্বা এবং 0.5 মিলিমিটার চওড়া একটি রেখাছিদ্র (slit) কাটা হইল। একটি অন্ধকার ঘরে একটি বৈদ্যুতিক বাতি জ্বালাইয়া উহার আলোতে রেখাছিদ্রটি আলোকিত করা হইল। রেখাছিদ্র হইতে আগত আলো প্রিজমের মধ্য দিয়া গিয়া সাদা পর্দার উপর পড়িতেছে (চিত্র 6.1)। রেখাছিদ্রটিকে প্রিজমের সামনে এমনভাবে বসান হইয়াছে যেন উহা প্রিজমের প্রতিসারক ধারটির সমান্তরালভাবে থাকে। রেখাছিদ্র হইতে আগত সাদা রশ্মিগুচ্ছ প্রিজম-কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া উহার ভূমির দিকে বাকিয়া যায়। দেখা যাইবে যে, পর্দার গায়ে রেখাছিদ্রের অনুরূপ একফালি সাদা আলোর পরিবর্তে অপেক্ষাকৃত

চওড়া একটি বহুবর্ণী আলোক-পটি (colour-band) পর্দার উপর পড়িয়েছে। এই আলোক-পটির মধ্যে—বেগুনী (violet), নীল (indigo), আকাশী (blue), সবুজ (green), হলুদ (yellow), কমলা (orange), এবং লাল (red) বর্ণের আলো নিচ হইতে উপরের দিকে পর পর সজ্জিত থাকে। মনে রাখিবার সুবিধার জন্য বর্ণের এই বিন্যাসকে সংক্ষেপে ‘বেনীআসহকলা’ শব্দের দ্বারা প্রকাশ করা হয়। বিভিন্ন বর্ণের নামের আদ্যাক্ষর লইয়া শব্দটি তৈয়ারী হইয়াছে। ইংরেজিতে অনুরূপ শব্দ হইল—VIBGYOR। বর্ণালীর মধ্যে বিভিন্ন বর্ণের বিন্যাস লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে, প্রিজম-কর্তৃক, বেগুনী বর্ণের আলোর বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশি এবং লাল রঙের আলোর

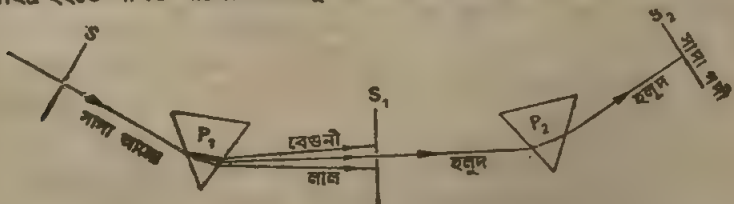


চিত্র 6.1

বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম। অর্থাৎ, লাল আলো সর্বাপেক্ষা কম প্রতিসরণীয়। ইহার কারণ এই যে, লাল আলোর জন্য কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক অন্যান্য আলোর জন্য ঐ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা কম। বেগুনী আলোর ক্ষেত্রে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক সর্বাপেক্ষা বেশি বলিয়াই ইহার বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশি।

বর্ণালীতে বিভিন্ন রং-এর পটি সমান চওড়া হয় না। ইহার বেগুনী অংশ সর্বাপেক্ষা চওড়া এবং কমলা রঙের পটি সর্বাপেক্ষা সরু।

প্রিজম বর্ণ সৃষ্টি করে না, উহা বিভিন্ন বর্ণের আলোকে পৃথক করিয়া দেয় মাত্র। এই উক্তির সত্যতা প্রমাণের জন্য নিম্নের পরীক্ষাটি করা যায় (চিত্র 6.2)।  $S_1$  রেখাছিদ্র হইতে আগত আলোক-রশ্মিগুচ্ছ প্রথমে  $P_1$ -প্রিজমের উপর পড়ে এবং উহা



চিত্র 6.2

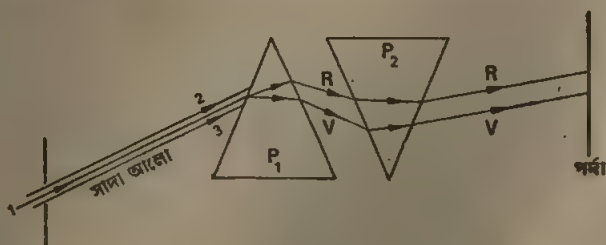
দ্বারা প্রতিসৃত এবং বিচ্ছুরিত হইয়া  $S_1$ -পর্দায় বর্ণালী-পটি সৃষ্টি করে।  $S_1$ -পর্দায় একটি রেখাছিদ্র (slit) কাটা আছে। পর্দাটিকে উপরে নিচে সরানো

যে-কোন একটি রঙের আলো-কে ঐ রেখাছিদ্রের মধ্য দিয়া পাঠাইয়া একবর্ণী আলো পাওয়া যায়। ধরি, ঐ রেখাছিদ্রটি বর্ণালী-পটের মধ্যে এমনভাবে বসান হইল যাহাতে উহার মধ্য দিয়া শুধুমাত্র হলুদ আলো নিগত হইয়া দ্বিতীয় প্রিজম  $P_2$ -এর উপর পড়ে। এই আলো  $P_2$ -প্রিজমের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া  $S_2$  পর্দায় পড়ে। দেখা যাইবে যে, প্রিজমের মধ্য দিয়া যাইবার সময় হলুদ আলোর দিকবিচ্যুতি হইবে, কিন্তু ইহা বিভিন্ন রঙে বিভক্ত হইবে না।  $S_2$ -পর্দায় কেবলমাত্র হলুদ আলোই পাওয়া যাইবে।

### 6.3 সাদা আলোর বৈশিষ্ট্যগত প্রকৃতি

উপরের পরীক্ষায় আমরা দেখিয়াছি যে, সাদা আলো সাতটি রঙের সমন্বয়ে গঠিত। সাদা আলো হইতে যেমন সাতটি রঙ উৎপন্ন হয়, ঐ সাত রঙের আলোকে মিশ্রিত করিলে পুনরায় সাদা আলো পাওয়া যায়। নিম্নের পরীক্ষা হইতে ইহা দেখান যায়।

(i) দুইটি সাদা আলোর প্রিজমের সাহায্যে : একই উপাদানে তৈয়ারী দুইটি সাদা আলোর প্রিজম  $P_1$  এবং  $P_2$  লওয়া হইল (চিত্র 6.3)। ইহাদিগকে পাশাপাশি পরস্পর উল্টা অবস্থায় রাখা হইল যাহাতে উহাদের প্রতিসারক ধার (refracting edge) পরস্পর সমান্তরাল থাকে।



চিত্র 6.3

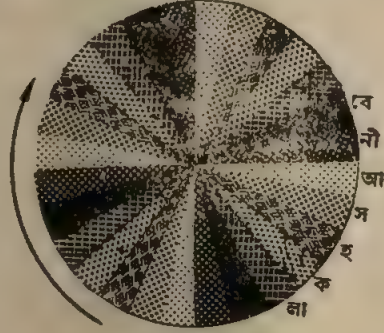
একটি রেখাছিদ্র  $O$  হইতে নিগত সাদা আলোর একটি রশ্মি (1) প্রিজমে  $P_1$ -এ আপতিত হইয়া বিচ্ছুরিত হইবে।  $P_1$ -কর্তৃক বিচ্ছুরণের ফলে বিভিন্ন বর্ণের আলোক-রশ্মি প্রিজম  $P_2$ -তে বিভিন্ন কোণে আপতিত হয় এবং ইহার মধ্য দিয়া যাইবার পর সকল বর্ণের আলোক-রশ্মি পরস্পর সমান্তরালভাবে নিগত হয়। কাজেই, আপতিত সাদা রশ্মি দুইটি প্রিজম-কর্তৃক বিচ্ছুরিত হইয়া বিভিন্ন বর্ণের দ্বারা গঠিত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ পরিণত হয়। কাজেই,  $P_2$  প্রিজমের পর একটি পর্দা রাখিলে 1 নং রশ্মি হইতে উৎপন্ন বহুবর্ণী সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ উহার উপর একটি পটি (band) গঠন করিবে। এই পটির নিচের প্রান্তে থাকিবে বেগুনী আলো (V) এবং উপরের প্রান্তে থাকিবে লাল আলো (R)।

এইবার 1 নং রশ্মির পাশের অন্য দুইটি রশ্মি 2 এবং 3-এর বিচ্ছুরণ বিবেচনা করা যাক। স্পষ্টতই ইহারাও পর্দার উপর অনুরূপ পটি গঠন করিবে। বিভিন্ন রশ্মি হইতে উৎপন্ন পটিগুলি পরস্পর উপরিপাতিত হইবে এবং সাদা আলোর সৃষ্টি করিবে— কেবলমাত্র পর্দার আলোকিত অংশের উপরের প্রান্তে একটি লাল আলোর রেখা এবং নিচের প্রান্তে বেগুনী আলোর রেখা দেখা যাইবে।

এই পরীক্ষা হইতে বুঝা যায় যে, সাদা আলো একটি বহুবর্ণী আলো বা যৌগিক আলো।

(ii) নিউটনের বর্ণচাক্তির (Newton's colour disc) সাহায্যে : কার্ড-বোর্ডের তৈয়ারী একটি গোলাকার চাক্তির এক পৃষ্ঠে বিভিন্ন বৃত্তকলা (sectors) বরাবর বিভিন্ন বর্ণের প্রলেপ দিয়া

নিউটনের বর্ণ চাক্তিটি তৈয়ারী করা হয় (চিত্র 6.4)। রঙের প্রলেপযুক্ত পৃষ্ঠটিকে সাধারণত চার ভাগে ভাগ করা থাকে এবং প্রতিটি ভাগেই সাতটি বর্ণের (বেনী-আসহকলা) বৃত্তকলা পর পর সাজানো থাকে। চাক্তিটি যখন স্থির অবস্থায় থাকে তখন উহার দিকে তাকাইলে উহাতে বিভিন্ন বৃত্তকলা বরাবর বিভিন্ন বর্ণ দেখা যায়। কিন্তু যখন চাক্তিটি দ্রুত ঘুরিতে থাকে তখন উহার দিকে তাকাইলে বিভিন্ন বর্ণ দেখা যাইবে না; ইহার পরিবর্তে চাক্তিটিকে সাদা দেখাইবে। ইহার কারণ নিম্নে ব্যাখ্যা করা হইল।



চিত্র 6.4

চাক্তিটি যখন ঘুরিতে থাকে তখন উহার দিকে স্থিরভাবে তাকাইলে বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন বর্ণের আলো আসিয়া দর্শকের চোখে পড়ে। কিন্তু আমরা জানি যে, চোখে কোন ক্ষণস্থায়ী আলো পড়িলে চোখে কিছুক্ষণ পরন্তু ঐ আলোর রেশ বা অনুভূতি থাকিয়া যায়। ইহাকে দৃষ্টিনির্বন্ধ (persistence of vision) বলা হয়। চাক্তি দ্রুত ঘুরিতে থাকিলে অতি অল্প সময়ের মধ্যে বিভিন্ন বর্ণের আলো পর পর চোখে পড়ে। দৃষ্টিনির্বন্ধের জন্য কোন বর্ণের আলো চোখে পড়িবার কিছুক্ষণ পর পরন্তু চোখে ঐ বর্ণের অনুভূতি থাকে বলিয়া চাক্তিটি দ্রুত ঘুরিতে থাকিলে বহু বর্ণের অনুভূতি মিশিয়া গিয়া চোখে সাদা আলোর অনুভূতির সৃষ্টি করে। এই পরীক্ষা হইতেও পরোক্ষভাবে প্রমাণ পাওয়া যায় যে, সাদা আলো প্রকৃতপক্ষে সাতটি বিভিন্ন বর্ণের আলোর মিশ্রণ।

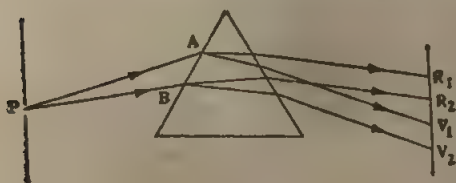
#### 6.4 অশুদ্ধ ও বিশুদ্ধ বর্ণালী (Impure and pure spectrum)

যদি সাদা আলোর একটিমাত্র রশ্মি কোন প্রিজমের উপর আপতিত হইত তাহা হইলে উহা বিচ্ছুরিত হইয়া একটি বর্ণালী গঠন করিত এবং এই বর্ণালীতে বেগুনী, নীল, আকাশী ইত্যাদি বর্ণের আলো পর্দার বিভিন্ন স্থানে আসিয়া পতিত গঠন করিত। কিন্তু আলোক-রশ্মি একটি কম্পনামাত্র। বাস্তবে আলাদাভাবে একটি আলোক-রশ্মি পাওয়া সম্ভব নয়। রশ্মিকে আমরা সরলরেখার সাহায্যে প্রকাশ করি। ইহার অর্থ এই যে, কম্পনায় আলোক-রশ্মির বেধ (thickness) নাই। আলোক-রশ্মি বেধহীন বলিয়া উহার কোন আলোক-শক্তি থাকিতে পারে না। বাস্তব পরীক্ষায় সর্বদা আমরা অসংখ্য আলোক-রশ্মি দ্বারা গঠিত রশ্মিগুচ্ছ ব্যবহার করি। আলোক-রশ্মিগুচ্ছ সরু



হইলেও বেধহীন নয়। ইহা পাশাপাশি সম্মিলিত অসংখ্য রশ্মি দ্বারা গঠিত—এইরূপ কল্পনা করিতে পারি। ইহারা প্রত্যেকে প্রিজমের সাহায্যে প্রতিসৃত ও বিচ্ছুরিত হইয়া পর্দার বিভিন্ন স্থানে বর্ণালী গঠন করিবে। রশ্মিগুলি কাছাকাছি থাকায় উহাদের বিচ্ছুরণে গঠিত বর্ণালীগুলিও পর্দার উপর কাছাকাছি পড়িবে। ইহাতে ঐ সব বর্ণালী একে অন্যের উপর পড়ে, ফলে লব্ধ বর্ণালীটির বিভিন্ন স্থানে একবর্ণী আলো না থাকিয়া বিভিন্ন বর্ণের আলো মিশ্রিত অবস্থার থাকে। এইরূপ বর্ণালীকে **অবিশুদ্ধ বর্ণালী** বলে।

6.5 নং চিত্রে P-রেখাছিদ্র হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছটি PA এবং PB—এই দুইটি প্রান্তিক



চিত্র 6.5

আলোক-রশ্মির সাহায্যে সীমাবদ্ধ।

PA আলোক-রশ্মি প্রিজম-কর্তৃক বিচ্ছুরিত হইয়া সাদা পর্দার  $R_1V_1$  অংশে এবং PB-রশ্মিটি বিচ্ছুরিত হইয়া  $R_2V_2$  অংশে বর্ণালী গঠন করিয়াছে। দেখা যাইতেছে যে,  $R_2V_1$  অংশে এই দুই রশ্মির

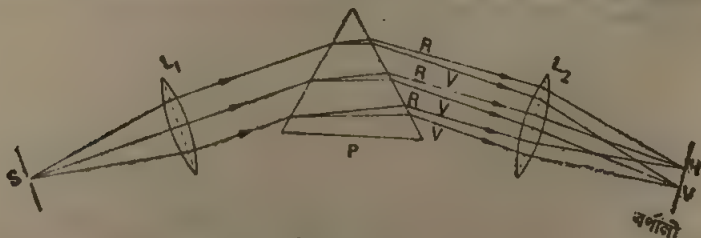
বর্ণালীদ্বয় একে অন্যের উপর আপতিত হইয়াছে। সুতরাং এই বর্ণালী অবিশুদ্ধ।

যে-বর্ণালীতে একটি বর্ণের আলোর সহিত অপর বর্ণের আলো মিশ্রিত না হইয়া প্রতিটি বর্ণ স্বতন্ত্র স্থানে পটি গঠন করে তাহাকে **বিশুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়।

## 6.5 বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবার পদ্ধতি

(Formation of pure spectrum)

নিম্নের পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করা যায়। মনে করি S একটি সরু রেখাছিদ্র। ইহা সাদা আলো দ্বারা আলোকিত হইয়াছে। রেখাছিদ্রটি একটি অভিসারী লেন্স  $L_1$ -এর প্রথম মুখ্য ফোকাসে আছে। সুতরাং, রেখাছিদ্রের বিভিন্ন বিন্দু হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছ  $L_1$ -লেন্সের উপর পড়িয়া সমান্তরালভাবে নিগত হইবে। একটি প্রিজম P-কে এমনভাবে রাখা হইল যেন উহার প্রতিসারক-ধারটি



চিত্র 6.6

রেখাছিদ্রের সমান্তরালভাবে থাকে। এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রিজমে পড়িয়া বিচ্ছুরিত হইয়া সাতটি বর্ণের আলোতে বিভক্ত হইয়া পড়ে। রশ্মিগুচ্ছটি সমান্তরাল বলিয়া প্রিজমের উপর প্রতিটি আলোক-রশ্মিই একই কোণে আপতিত হইবে। বিচ্ছুরণের ফলে প্রতিটি রশ্মি ভাঙিয়া বিভিন্ন বর্ণের রশ্মি গঠন করে। লক্ষ্য কর যে, প্রিজম হইতে

নিজস্ব হইবার পর একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক-রশ্মি পরস্পরের সমান্তরাল, কিন্তু এক বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অপর বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের সহিত একটি কোণ করিয়া থাকে। অর্থাৎ, বিচ্ছুরণের দ্বারা উৎপন্ন লাল রশ্মিগুলি (চিত্রে R অক্ষর দ্বারা সূচিত) পরস্পরের সমান্তরাল; অনুরূপভাবে, বেগুনী রশ্মিগুলি (চিত্রে V অক্ষর দ্বারা সূচিত) পরস্পরের সমান্তরাল। কিন্তু লাল রশ্মিগুলি বেগুনী রশ্মিগুলির সহিত একটি কোণে আনত থাকে। সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ কোন অভিসারী লেন্সে পড়িলে উহা ফোকাস-তলের একটি বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয়। সুতরাং প্রিজম P হইতে নিজস্ব লাল আলোর রশ্মিগুচ্ছ লেন্স-কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া  $L_2$ -লেন্সের ফোকাস-তলে R-বিন্দুতে মিলিত হয়। অনুরূপভাবে, বেগুনী বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ V-বিন্দুতে মিলিত হয়।  $L_2$ -লেন্সের ফোকাস-তলে একটি সাদা পর্দা রাখিলে উহার উপর RV অংশে বিশুদ্ধ বর্ণালীর সৃষ্টি হইবে। এই পদ্ধতিতে প্রতিটি বর্ণের আলো একটি নির্দিষ্ট স্থানে মিলিত হয় বলিয়া এই বর্ণালীটি বিশুদ্ধ হইবে।

চিত্রে  $L_1$  এবং  $L_2$  লেন্সদ্বয়কে দুইটি লেন্সের সমন্বয় হিসাবে দেখান হইয়াছে। ইহারা দুইটি অর্বাণ-বৃত্তম লেন্স (achromatic doublet)। সাধারণ লেন্স ব্যবহার করিলে উহার বর্ণাপেরণের ফলে বিভিন্ন বর্ণের আলো লেন্স হইতে বিভিন্ন দূরত্বে আসিয়া মিলিত হয়। এইরূপ হইলে বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন সম্ভব হয় না। দুইটি লেন্সের সমন্বয় ব্যবহার করিয়া বর্ণাপেরণ এড়ান যায়।

## 6.6 আলোর বর্ণ ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (Colour and wave-length of light)

আলোক-সম্বন্ধীয় বিভিন্ন ঘটনা ব্যাখ্যা করিতে গিয়া বিজ্ঞানীরা দেখিয়াছেন যে, ইহাকে একটি তরঙ্গরূপে কল্পনা করা যায়। আলোক-তরঙ্গের মাধ্যম হিসাবে পূর্বে ইহার নামক একটি মাধ্যমের কল্পনা করা হইয়াছিল। ইহার মতবাদ অনুসারে, ইহার কারণে কল্পনাই আলোক শক্তি। কিন্তু বর্তমানে ইহার মতবাদ পরিত্যক্ত হইয়াছে। বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল প্রথম গাণিতিক হিসাব-নির্দেশ করিয়া দেখান যে, আলো তড়িৎ-চৌম্বকীয় তরঙ্গ (electromagnetic waves)। তড়িৎ-চৌম্বকীয় তরঙ্গগোষ্ঠীর সবটুকু আমাদের দর্শনেন্দ্রিয়ে সাড়া জাগায় না। যে-অংশ আমাদের দৃষ্টির অনুভূতি জাগায় তাহাকে আমরা আলো (light) বলি। বর্ণালীর মধ্যে বেগুনী হইতে লাল পর্যন্ত যে-আলো আমরা দেখি উহাদের মূলগত পার্থক্য তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকিলে তবেই তড়িৎ-চৌম্বকীয় তরঙ্গ আমাদের দর্শনানুভূতি জাগাইতে সক্ষম হয়। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য যদি  $4 \times 10^{-8}$  cm অপেক্ষা কম হয়, কিংবা  $7.8 \times 10^{-5}$  cm অপেক্ষা বেশি হয় তবে এরূপ তড়িৎ-চৌম্বকীয় তরঙ্গ আমাদের দর্শনেন্দ্রিয়ে সাড়া জাগায় না।  $4 \times 10^{-8}$  cm হইতে  $7.8 \times 10^{-5}$  cm পর্যন্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট তড়িৎ-চৌম্বকীয় তরঙ্গ আমাদের দর্শনানুভূতি জাগায়, কিন্তু বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলোর বর্ণ বিভিন্ন হয়। যেমন  $7.8 \times 10^{-5}$  cm হইতে  $6.3 \times 10^{-5}$  cm পর্যন্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট আলো আমাদের চোখে লাল রঙের অনুভূতি জাগায়, অনুরূপভাবে  $5.0 \times 10^{-5}$  cm হইতে  $5.6 \times 10^{-5}$  cm পর্যন্ত আলো আমাদের চোখে সবুজ বর্ণের অনুভূতি জাগায়।

● কাচের মধ্যে কোন বর্ণের আলোর গতিবেগ বেশি হইবে? লাল আলোর, নীল আলোর?

বিভিন্ন বর্ণের আলোর ক্ষেত্রে কাচের প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন বলিয়াই কাচের প্রিজ্মে আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে। নিয়মিত বিচ্ছুরণ (normal dispersion)-এর সময় দেখা যায় যে, যে-বর্ণের আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য যত বেশি উহার প্রতিসরাঙ্ক তত কম। আবার, যে-আলোর প্রতিসরাঙ্ক যত কম আলোচ্য মাধ্যমে সেই আলোর গতিবেগ তত বেশি। সুতরাং, সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, সাধারণত (নিয়মিত বিচ্ছুরণের সময়) যে-আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য যত বেশি, বিচ্ছুরক মাধ্যমে (dispersive medium) সেই আলোর বেগ তত বেশি। নীল আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অপেক্ষা লাল আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বেশি। কাজেই কাচে নীল আলো অপেক্ষা লাল আলোর বেগ বেশি হইবে।

## 6.7 বিভিন্ন প্রকার বর্ণালী (Different types of spectrum)

রাসায়নিক পরীক্ষাগারে তোমরা বুনসেন দীপের শিখায় বিভিন্ন ধাতব লবণকে জ্বলিতে দিয়া শিখার বর্ণচ্ছটা দেখিয়া এসব ধাতব উপাদান সনাক্ত করিয়াছ। সোডিয়াম, পটাসিয়াম, স্ট্রন্টিয়াম ইত্যাদি পদার্থ উত্তপ্ত অবস্থায় নির্দিষ্ট বর্ণের আলো ছড়ায়। এই আলোর বর্ণালী বিশ্লেষণ করিয়া ধাতুগুলির আভ্যন্তরীণ গঠন সম্বন্ধে নানা কথা জানা যায়।

বর্ণালী মূলত দুই প্রকার—(i) নিঃসরণ বর্ণালী এবং (ii) শোষণ বর্ণালী।

(i) নিঃসরণ বর্ণালী (Emission spectrum): কোন আলোক-উৎস হইতে নিঃসৃত আলোর বর্ণালীকে নিঃসরণ বর্ণালী বলা হয়। এই প্রকার বর্ণালীকে আবার তিনটি ভাগে ভাগ করা যায়। যথা—

(a) রেখা বর্ণালী (line spectrum); (b) পটি বর্ণালী (band spectrum) এবং (c) ছেদবিহীন বর্ণালী (continuous spectrum)।

(a) রেখা-বর্ণালী: পদার্থ যখন পারমাণবিক অবস্থায় (atomic state) থাকে তখন উহা কেবলমাত্র কয়েকটি নির্দিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যে আলো বিকিরণ করে। এইরূপ আলো দ্বারা একটি সরু রক্তকে আলোকিত করিয়া প্রিজ্ম বা অন্য কোন কিছু সাহায্যে ঐ আলোর বিচ্ছুরণ ঘটাইলে যে-বর্ণালী সৃষ্টি হয় তাহাতে কয়েকটি নির্দিষ্ট রঙের আলোর রেখা দেখা যায়। অঙ্গ চাপে রক্ষিত মৌলিক গ্যাসকে উত্তপ্ত করিলে বা উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে যে আলো পদ্ময়া যায়, তাহার বর্ণালী এইরূপ। এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, প্রাতিটি মৌলিক পদার্থের অণু একটি নির্দিষ্ট রেখা-বর্ণালীর আলো বিকিরণ করে। অর্থাৎ, প্রাতিটি মৌলের রেখা-বর্ণালী ঐ মৌলের পরিচয়-স্বাপক। সুতরাং, রেখা-বর্ণালীর গঠন দেখিয়া অনায়াসে বিভিন্ন মৌলকে সনাক্ত করা যায়।

(b) পটি-বর্ণালী: আণবিক অবস্থায় (molecular state) বিদ্যমান কোন গ্যাসীয় পদার্থ দ্বারা বিকীর্ণ আলোর বর্ণালী নিরবিচ্ছিন্নও নয়, আবার বিচ্ছিন্ন রেখায় তৈয়ারী রেখা-বর্ণালীও নয়। ইহাদের বর্ণালী কয়েকটি বিচ্ছিন্ন পটির সমষ্টি। পটি-বর্ণালী অণুর পরিচয়-স্বাপক। কাজেই পটি-বর্ণালী দেখিয়া অণু সনাক্ত করা যায়।

(c) ছেদবিহীন বর্ণালী: কঠিন বা তরল অবস্থায় (solid or liquid state)

বিদ্যমান উত্তপ্ত পদার্থ হইতে যে-আলো বাহির হয় তাহার বর্ণালী লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, উহাতে সকল বর্ণের আলোই বিদ্যমান থাকে। এই বর্ণালীর কোন অংশ বিচ্ছিন্ন বা অককারাচ্ছন্ন নয় বলিয়া ইহাকে ছেদবিহীন বর্ণালী বলা হয়। ফিলামেন্টের তৈয়ারী বৈদ্যুতিক বাতি, উত্তপ্ত গলিত ধাতু ইত্যাদি হইতে যে-আলো নিঃসৃত হয় তাহার বর্ণালী এইরূপ।

(ii) **শোষণ বর্ণালী (Absorption spectrum) :** উত্তপ্ত ভাষুর পদার্থ হইতে নিঃসৃত সাদা আলো কম উষ্ণ কোন গ্যাস, কঠিন বা তরল পদার্থের মধ্য দিয়া গেলে ঐ সাদা আলোর বর্ণাজীর কোন কোন অংশ শোষিত হয়। কোন রঙিন কাচের মধ্য দিয়া সাদা আলো পাঠাইয়া নিষ্কাশিত আলোর বর্ণালী পর্যবেক্ষণ করিলে দেখা যাইবে যে, সাদা আলোর ছেদবিহীন নিঃসরণ বর্ণালী হইতে কয়েকটি আলোর রেখা বা পটি অদৃশ্য হইয়া উহাদের অধিকৃত স্থানগুলিতে কালো রেখা বা পটির সৃষ্টি হইয়াছে। ছেদবিহীন বর্ণালীর উপর এই কালো রেখা বা পটিগুলির সমন্বয়কে শোষণ বর্ণালী বলা হয়। কোন পদার্থের নিঃসরণ বর্ণালী যেমন নির্দিষ্ট তেমনি উহার শোষণ বর্ণালীও নির্দিষ্ট। অর্থাৎ, কোন শোষক পদার্থের শোষণ বর্ণালীও ঐ পদার্থের পরিচয়-স্বাগক।

নিম্নরূপ পরীক্ষার দ্বারা বিভিন্ন পদার্থের শোষণ পটি গঠন করা যায় :

(i) কার্বন আর্ক বাতি হইতে নির্গত সাদা আলোকে কোন বায়ুশূন্য কাচের পাত্রে রক্ষিত সোডিয়াম বাষ্পের মধ্য দিয়া পাঠাইলে সোডিয়াম বাষ্প সাদা আলো হইতে একটি নির্দিষ্ট রঙের আলো শোষণ করিয়া লয়; বাষ্প হইতে নিষ্কাশিত আলোর বর্ণালী বিশ্লেষণ করিলে দেখা যাইবে যে, সাদা আলোর ছেদবিহীন বর্ণালী হইতে নির্দিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের হলুদ আলো অদৃশ্য হইয়া উহার স্থানে একটি কালো রেখার সৃষ্টি হইয়াছে।

(ii) কোহলের দ্রবণে ক্লোরোফিল দ্রবীভূত করিয়া ঐ দ্রবণের মধ্য দিয়া তীব্র সাদা আলো পাঠাইয়া ক্লোরোফিলের শোষণ বর্ণালী নির্ণয় করা যায়। দ্রবণ হইতে নিষ্কাশিত আলোর বর্ণালীতে একটি কৃষ্ণবর্ণ পটির সৃষ্টি হইবে। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, ক্লোরোফিল সূর্যকিরণ হইতে ঐ নির্দিষ্ট পাল্লার (range) তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সকল আলো শোষণ করিয়া লয়।

## 6.8 সৌর বর্ণালী এবং ফ্রাউনহোফার লাইন (Solar spectrum and Fraunhofer lines) :

সৌরকিরণ বিশ্লেষণ করিলে লাল হইতে বেগুনী পর্যন্ত সমস্ত বর্ণ-রঞ্জিত বর্ণালী পাওয়া যায়। কিন্তু ভালভাবে লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, এই বর্ণালীতে বহুসংখ্যক কালো রেখা রহিয়াছে। আবিষ্কারের নামানুসারে এই কালো রেখাগুলির নামকরণ করা হইয়াছে ফ্রাউনহোফার-রেখা (Fraunhofer lines)। ফ্রাউনহোফার এই রেখাগুলি লক্ষ্য করিয়াছিলেন বটে, কিন্তু তিনি উহাদের তাৎপর্য ব্যাখ্যা করিতে পারেন নাই। পরবর্তী কালে মূলত জার্মান বিজ্ঞানী কিরখফ (Kirchoff)-এর গবেষণার দ্বারা এই রেখাগুলির তাৎপর্য এবং গুরুত্ব বুঝা গিয়াছে। এই কালো রেখাগুলি প্রকৃতপক্ষে একটি শোষণ বর্ণালী। উত্তপ্ত উৎস হইতে আগত সাদা আলোকে শীতলতর বাষ্পের মধ্য দিয়া পাঠাইয়া



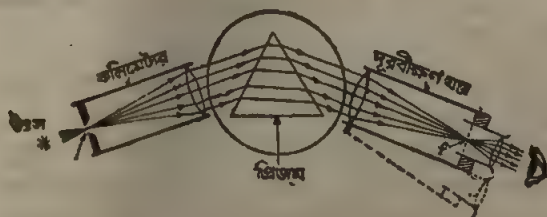
অনুরূপ শোষণ পটি পাওয়া যায়। এখন প্রশ্ন হইল, সৌর-বর্ণালীর ঐ কৃষ্ণবর্ণ রেখাগুলি কোথা হইতে আসিল? বিজ্ঞানী কিরুথফ্ ইহার নিম্নরূপ ব্যাখ্যা করিয়াছিলেন।

সূর্যকে মোটামুটি দুইটি অংশে বিভক্ত বলিয়া কল্পনা করা যায়। মধ্যবর্তী অংশটি অতি উত্তপ্ত কঠিন বা তরল দ্বারা গঠিত। ইহার নাম ‘আলোকমণ্ডল’ (photosphere)। আলোকমণ্ডলকে ঘিরিয়া রহিয়াছে অপেক্ষাকৃত শীতল একটি গ্যাসীয় পদার্থের আবরণ। এই গ্যাসীয় আবরণটির নাম বর্ণমণ্ডল (chromosphere)। কিরুথফের অভিমতে, আলোকমণ্ডল হইতে যে সাদা আলো (যাহার বর্ণালী নিরবচ্ছিন্ন) নির্গত হয় তাহা শীতল গ্যাসীয় আবরণটির মধ্য দিয়া যাইবার সময়ে ঐ গ্যাসীয় স্তরের শোষণের ফলে কতকগুলি নির্দিষ্ট বর্ণের বা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো হারায়। ইহার ফলে পৃথিবীতে আগত সূর্যকিরণের বর্ণালীতে কৃষ্ণবর্ণের বহুসংখ্যক রেখা পাওয়া যায়। পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, প্রতিটি উপাদানের শোষণ-বর্ণালী নির্দিষ্ট এবং শোষণ পটি লক্ষ্য করিয়া বিভিন্ন উপাদান সনাক্ত করা যায়। সুতরাং, সৌরবর্ণালীর কৃষ্ণরেখাগুলি লক্ষ্য করিয়া সূর্যের বর্ণমণ্ডলে কী কী উপাদান আছে তাহা জানা যায়। ফ্রাউনহোফার রেখাগুলি বিচার করিয়া নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করা গিয়াছে যে, পৃথিবীতে আছে এমন পদার্থটিরও বেশি মৌলিক পদার্থ সূর্যেও আছে। নক্ষত্রাদির উপাদান নির্ণয়ে শোষণ-বর্ণালীর ভূমিকা খুবই গুরুত্বপূর্ণ।

## 6.9 বর্ণালী-মাপক যন্ত্র (Spectrometer)

বিভিন্ন আলোর বর্ণালী-সম্বন্ধীয় মাপজোখ, প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়, আলোর রঙের সাহিত আলোক-মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের পরিবর্তন নির্ণয় ইত্যাদি নানা কাজে বর্ণালী-মাপক যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রে আলোর বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবার জন্য প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা থাকে। এই যন্ত্রের প্রধান অংশ তিনটি—

(i) কলিমিটর (Collimator): ইহা আকারে একটি নলের মত (চিত্র 6.7)। ইহার একপ্রান্তে (বে-প্রান্তে আলোর উৎস থাকে) একটি রেখাছিদ্র (slit) থাকে। একটি ক্রুর সাহায্যে এই রেখাছিদ্রের প্রশস্ততা ইচ্ছামত পরিবর্তন করা যায়। কলিমিটর নলের অপরপ্রান্তে রহিয়াছে একটি অভিসারী লেন্স। অপেরণ-জনিত দৃষ্টি দূর করিবার



চিত্র 6.7

ফোকাসিং ক্রু থাকে। ইহার সাহায্যে লেন্স হইতে নির্গত রশ্মিগুলিকে সমান্তরাল করা যায়।

(ii) প্রিজম-টেবল (Prism table): ইহা একটি বৃত্তাকার প্ল্যাটফর্ম।

প্রিজম টেব্লেট ইহার কেন্দ্রগামী উল্লম্ব অক্ষের উপর ঘুরিতে পারে। ইহার উপর একটি প্রিজম বসান থাকে যাহার সাহায্যে আলোর বর্ণালী গঠিত হয়। ইহাকে উঠাইবার, নামাইবার এবং ঘুরাইবার ব্যবস্থা আছে যাহাতে কলিমেন্টর হইতে আগত আলো প্রিজম-টেব্লেট রক্ষিত প্রিজমের গায়ে সঠিক উচ্চতায় এবং বিভিন্ন আপতন কোণে ফেলা যায়।

(iii) দূরবীক্ষণ বা টেলিস্কোপ (Telescope): ইহা একটি সাধারণ নভোবীক্ষণ যন্ত্র\* (astronomical telescope)। ইহার দুইটি অংশ—(i) অবজেক্টিভ এবং (ii) আই-পিস। ইহাকে প্রিজম-টেব্লেটের কেন্দ্রগামী উল্লম্ব অক্ষের চারিদিকে ঘুরাইয়া কলিমেন্টরের সঙ্গে যে-কোন কোণে রাখা যায়। প্রিজম-টেব্লেট সংলগ্ন একটি বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ হইতে দূরবীক্ষণের অবস্থান জানা যায়।

সমগ্র যন্ত্রটি তিনটি লেভেলিং স্কুর উপর স্থাপিত। ইহাদের সাহায্যে টেলিস্কোপের ঘূর্ণাক্ষটিকে উল্লম্ব করা যায়। কলিমেন্টর এবং টেলিস্কোপের অক্ষ অনুভূমিক থাকে। এই দুইটি অক্ষকে বর্ধিত করিলে উহার ঘূর্ণাক্ষের মধ্য দিয়া যায়।

কার্য-প্রণালী : উৎস হইতে আলো আসিয়া কলিমেন্টরের রেখাছিদ্রটি আলোকিত করে। রেখাছিদ্রটি অভিসারী কলিমেন্টিং লেন্সটির প্রথম মুখ্য ফোকাসে থাকিলে লেন্স হইতে সমান্তরাল রশ্মি নির্গত হয়। প্রিজম-টেব্লেটের উপর রক্ষিত প্রিজমের মধ্য দিয়া এই রশ্মিগুলি বাকিয়া যায়। বিভিন্ন বর্ণের আলো বিভিন্ন পরিমাণে বিচূত হয় বলিয়া রেখাছিদ্রটিকে সাদা আলো বা অন্য কোন যৌগিক আলো দ্বারা আলোকিত করিলে প্রিজম-কর্তৃক ঐ আলো বিচ্ছুরিত হয়। টেলিস্কোপটিকে ঘুরাইয়া এমনভাবে বসান হয় যাহাতে বিভিন্ন বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুলি দূরবীক্ষণের অবজেক্টিভে পড়িয়া উহার ফোকাস-তলে কেন্দ্রীভূত হয় এবং বিশুদ্ধ বর্ণালীর সৃষ্টি করে। আই-পিসের পিছনে চোখ রাখিলে এই বর্ণালী বিবর্ধিত আকারে দেখা যায়।

বর্ণালী-বীক্ষণ ও বর্ণালী-মাপক যন্ত্রের মূলগত কোন পার্থক্য নাই। যন্ত্রে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অবস্থান মাপিবার জন্য বৃত্তাকার স্কেল এবং ভার্নিয়ার ব্যবস্থা থাকিলে উহাকে বর্ণালী-মাপক যন্ত্র বলা হয়; স্কেল না থাকিলে উহাকে বর্ণালী-বীক্ষণ (spectroscope) যন্ত্র বলা হয়।

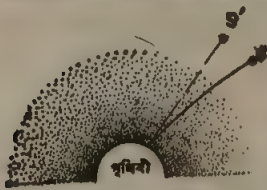
## 6.10 বায়ুমণ্ডলীয় প্রতিসরণ (Atmospheric refraction)

(i) পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে যত উপরে উঠা যায় বায়ুর ঘনত্বও তত কমিতে থাকে। বায়ুর ঘনত্বের উপর উহার প্রতিসরাঙ্ক নির্ভরশীল। বায়ু যত হালকা হয় উহার প্রতিসরাঙ্কও তত কম হয়। সুতরাং, পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে যত উপরে উঠা যায় বায়ুর প্রতিসরাঙ্কও তত কমিতে থাকে।

উর্ধ্বাকাশ হইতে আগত কোন আলোক-রশ্মি ত্বির্গভাবে বায়ুমণ্ডলের উপরের স্তরে আপতিত হইয়া পৃথিবীর দিকে আসিতে থাকিলে উহা ক্রমাগত আপতন বিন্দুর অভিলম্বের দিকে বৃদ্ধিতে থাকে (চিত্র 6.8)। অর্থাৎ, বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়া রশ্মিটি বাকাপথে চলিতে থাকে। আকাশের বিভিন্ন জ্যোতিষ্ক হইতে পৃথিবীতে আলো

\* অষ্টম অধ্যায়ে এই যন্ত্র সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

আসিবার সময় আলোর গতিপথ এইরূপ বক্র হয়, ইহার ফলে জ্যোতিষ্কের আপাত অবস্থান উহার প্রকৃত অবস্থান হইতে ভিন্ন হয়। 6.8 নং চিত্রের সাহায্যে উহা সহজেই বুঝা যায়।



চিত্র 6.8

মনে করি, S একটি নক্ষত্রের প্রকৃত অবস্থান। S হইতে আগত আলোক-রশ্মি বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়া আসিবার সময় বাঁকিয়া যায়। আলোক-রশ্মি যে-সরলরেখা ধরিয়া দর্শকের চোখে প্রবেশ করে দর্শক সেই সরলরেখা অভিমুখেই নক্ষত্রটি দেখিতে পায়। এক্ষেত্রে দর্শকের চোখে S নক্ষত্রটির আপাত অবস্থান S'। দেখা যাইতেছে যে, বায়ুমণ্ডলীয় প্রতিসরণের ফলে কোন জ্যোতিষ্কের আপাত অবস্থান উহার প্রকৃত অবস্থান অপেক্ষা কিছুটা উপরে হয়। দিকচক্রবাল রেখায় (horizon) কোন জ্যোতিষ্ক থাকিলে বায়ুমণ্ডলীয় প্রতিসরণের জন্য ইহার প্রায়  $\frac{1}{2}^\circ$  কৌণিক উন্নতি হয়। ইহার ফলে কোন তারা দিগন্তরেখার কিছু নিচে থাকিলেও উহাকে আমরা দেখিতে পাই। একই কারণে সূর্য ও চন্দ্রকে অস্ত্র হাইবার সামান্য কিছুক্ষণ পর পর্যন্ত এবং উদিত হইবার কিছুক্ষণ আগে হইতে দেখা যায়। আর একটি ব্যাপার তোমরা নিশ্চয়ই লক্ষ্য করিয়া থাকিবে। সূর্য ও চন্দ্র উঠিবার ও ডুবিবার সময় উহাদের ঠিক গোলাকার দেখায় না, খানিকটা চ্যাপটা দেখায়। ইহার কারণ এই যে, উহাদের নিম্নাংশ হইতে আগত আলোক-রশ্মি প্রতিসরণের ফলে যতটা আপাত কৌণিক উন্নতি লাভ করে উহার উপরের অংশ হইতে আগত আলোক-রশ্মির ততটা উন্নতি হয় না।

(ii) নক্ষত্রের ঝিক্‌ঝিক্ (Twinkling of stars): বায়ুমণ্ডল স্থির নয়। পরিচলন এবং অন্যান্য বিক্ষোভ (turbulence)-এর ফলে ইহার বিভিন্ন স্তরে ঘনত্ব ক্রমাগত বদলায়। সুতরাং বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের প্রতিসরাঙ্ক এক থাকে না। ইহাতে দূরের কোন নক্ষত্র হইতে আগত ক্ষীণ আলোক-রশ্মিগুলির গতিপথও ক্রমাগত পরিবর্তিত হইতে থাকে। ফলে, ঐ সব নক্ষত্রের আপাত অবস্থানও এক থাকে না। তাহা ছাড়া, চোখে আগত আলোক-রশ্মির সংখ্যাও ক্রমাগত পরিবর্তিত হইতে থাকে বলিয়া ইহার তীব্রতারও তারতম্য হইতেছে বলিয়া মনে হয়। এই কারণে নক্ষত্রকে ঝিক্‌ঝিক্ করিতে দেখা যায়।

### 6.11 বায়ুমণ্ডলে আলোর বিক্ষেপণ এবং কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনা।

অনেক সময় কোন মাধ্যমে উহার প্রতিসরাঙ্ক হইতে ভিন্ন প্রতিসরাঙ্কের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা বিদ্যমান থাকিতে পারে। ঐ কণাগুলির উপর আলো আপতিত হইলে উহারা ঐ আলো শোষণ করিয়া গোণ উৎসরূপে চারিদিকে আলো ছড়াইয়া দেয়। এই প্রক্রিয়াকে আলোর বিক্ষেপণ (scattering) বলা হয়।

বিক্ষেপণের ফলে বিভিন্ন বর্ণের আলো কীভাবে ছড়াইয়া পড়িবে তাহা নির্ভর করে বিক্ষেপক কণাগুলির আকারের উপর। বিক্ষেপক কণাগুলির আকার যদি আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সাহিত তুলনীয় হয় তবে বিভিন্ন বর্ণের আলো কী নিম্নমে বিভিন্ন দিকে ছড়াইয়া পড়িবে বিজ্ঞানী লর্ড র‍্যায়ে সে-সম্পর্কে একটি তত্ত্ব দিয়াছেন। এই তত্ত্বকে র‍্যায়েলের তত্ত্ব (Rayleigh's theory) বলা হয়।



বায়ুমণ্ডলের গ্যাসের অণুগুলি শূন্যস্থানের দ্বারা পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্ন বলিয়া এই অণুগুলির উপর আলো পড়িলে উহারা বিক্ষেপণ-কেন্দ্র (scattering centres) রূপে ক্রিয়া করিয়া চতুর্দিকে ঐ আলো ছড়াইয়া দেয়। ইহা ছাড়া, বায়ুমণ্ডলে বিদ্যমান ধূলিকণা, ধোঁয়া ইত্যাদির সাহায্যেও আলো বিক্ষিপ্ত হইয়া চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। বায়ুমণ্ডলে সূর্যালোকের এইরূপ প্রতিফলনের ফলে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রাকৃতিক ঘটনার সৃষ্টি হয়। নিম্নে সেই সকল ঘটনার উল্লেখ করা হইল।

(i) উষা এবং গোধ্যুিল : সূর্য উদিত হইবার কিছুক্ষণ আগেই রাত্রির অন্ধকার কাটিয়া যায়। সূর্যের আলো বায়ুমণ্ডলের অণুগুলির দ্বারা বিক্ষিপ্ত হইয়া পৃথিবীতে আসে। ইহার ফলেই উষার আলোর সৃষ্টি হয়। বায়ুমণ্ডল না থাকিলে সূর্য উদিত না হওয়া পর্যন্ত কোন আলো পাওয়া যাইত না।

সূর্য অস্ত যাইবার সঙ্গে সঙ্গেই রাত্রির আধার নামিয়া আসে না। অন্তিমিত সূর্যের আলো বায়ুমণ্ডলের দ্বারা বিক্ষিপ্ত হইয়া গোধ্যুিলের আলো সৃষ্টি করে। ফলে সূর্য ডুবিয়া যাইবার কিছুক্ষণ পর পর্যন্ত দিনের আলো থাকিয়া যায়। কাজেই, বায়ুমণ্ডল না থাকিলে উষা-কালের এবং গোধ্যুিলবেলার আলো থাকিত না বলিয়া দিবালোকের স্থানান্তর কমিয়া যাইত।

ইহা ছাড়া, সূর্য যখন দিগন্ত রেখার নিকট থাকে বায়ুমণ্ডল-কর্তৃক সূর্য-রশ্মির প্রতি-সরণের ফলে সূর্যের অবস্থানের আপাত কৌণিক উন্নতি ঘটে। ইহার ফলে সূর্যোদয়ের কিছুক্ষণ আগেই সূর্যকে দেখা যায়। একই কারণে সূর্যাস্তের পরও কিছুক্ষণ সূর্য দেখা যায়। এই কারণেও বায়ুমণ্ডলের উপস্থিতির ফলে দিনের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়।

(ii) আকাশের নীলিমা : আলোর বিক্ষেপণের দরুন আকাশের রঙ নীল। সূর্যকিরণ যখন পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়া যায় তখন বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন গ্যাসের অণু দ্বারা উহা বিক্ষিপ্ত হয়। বিজ্ঞানী লর্ড র্যায়ে দেখাইয়াছেন যে, বিক্ষিপ্ত আলোর পরিমাণ  $(1/\lambda^4)$ -এর সমানুপাতিক ( $\lambda$ =আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য)। বেগুনী আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য লাল আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের  $4/7$  গুণ বলিয়া লাল আলোর বিক্ষেপণ অপেক্ষা বেগুনী আলোর বিক্ষেপণ  $(7/4)^4$  বা প্রায় 10 গুণ বেশি হইবে। অনুবৃত্তভাবে, লাল আলোর বিক্ষেপণ অপেক্ষা নীল আলোর বিক্ষেপণ 7 গুণ বেশি।

সূর্য হইতে দূরে আকাশের কোন অংশের দিকে তাকাইলে ঐ অংশ হইতে আমাদের চোখে যে-আলো আসিয়া প্রবেশ করে উহাতে বেগুনী ও নীল রঙের পরিমাণ অন্যান্য রঙের তুলনায় অনেক বেশি থাকে। ইহার ফলে আকাশকে নীল দেখায়। প্রকৃতপক্ষে, আড়াআড়িভাবে বিক্ষিপ্ত সূর্যকিরণে বিভিন্ন-রঙের আলোর অনুপাত নিম্নরূপ :

বেগুনী 10	নীল 7	সবুজ 3
হলুদ 3	কমলা 2	লাল 1

এই অনুপাতে বিভিন্ন রঙের আলোর মিশ্রণের ফলে আকাশের নীল রঙের সৃষ্টি হয়।

(iii) উদীয়মান এবং অস্তগামী সূর্যের রক্তিমতা : তোমরা লক্ষ্য করিয়াছ, সূর্য যখন উদিত হয় তখন ইহার রঙ লাল হয়। আলোর বিক্ষেপণই ইহার কারণ। দিগন্ত-রেখার নিকট অবস্থিত সূর্য হইতে আগত সাদা আলোক-রশ্মি যখন বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়া যায় তখন বায়ুর অণুগুলি ঐ আলোতে বিদ্যমান সকল রঙের আলোকেই পার্শ্বের দিকে বিক্ষিপ্ত করে। বিজ্ঞানী র্যায়ে দেখাইয়াছেন যে, যে-আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য যত কম সেই আলো তত বেশি বিক্ষিপ্ত হয়। বায়ুমণ্ডলের দ্বারা যে-পরিমাণ আলো পার্শ্বের দিকে

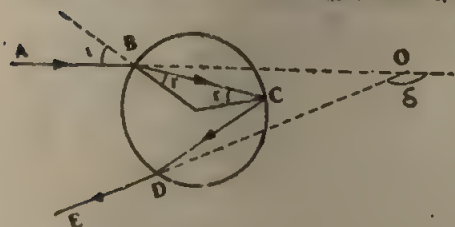


বিক্ষিপ্ত হয় তাহা আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক। দৃশ্যমান আলোক-গুলির মধ্যে লাল রঙের আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যই সর্বাপেক্ষা বেশি বলিয়া পার্শ্বের দিকে লাল আলোই সবচেয়ে কম বিক্ষিপ্ত হয়। এই জন্যই অন্তগামী সূর্য হইতে আগত সূর্যরশ্মি যখন বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়া দর্শকের দিকে অগ্রসর-হয় তখন বেগুনী, নীল, সবুজ ইত্যাদি আলো পার্শ্বের দিকে অনেক বেশি বিক্ষিপ্ত হয়, ইহাদের তুলনায় লাল আলোর বিক্ষেপণের মাত্রা কম বলিয়া অন্তগামী সূর্য হইতে আগত আলোকে লাল দেখান। কেবলমাত্র অন্তগামী সূর্যই নয়, প্রভাতের উদীয়মান সূর্যকেও লাল দেখান।

### \* 6.12 রামধনু (Rainbow)

এক পশলা বৃষ্টিপাতের পর বা বৃষ্টিপাতের সময় সকালে বা বিকালের দিকে সূর্যের বিপরীতদিকে তাকাইলে অনেক সময় বিশাল ধনুকের আকারে সজ্জিত বর্ণচ্ছটা দেখা যায়। ইহাকে রামধনু বা ইন্দ্রধনু বলে। ইহা একটি প্রকৃতিজ বর্ণালী ভিন্ন আর কিছুই নয়। সূর্যের সাদা আলো যখন বৃষ্টির জলের ফোঁটার উপর আপতিত হয় তখন বারিবিম্বু ঐ সাদা আলোকে বিচ্ছুরিত করিয়া এই বর্ণালীর সৃষ্টি করে। কখনও কখনও দুইটি রামধনুও লক্ষ্য করা যায়। উহাদের ব্যাস বিভিন্ন। ক্ষুদ্রতর ব্যাসের রামধনুটি অধিকতর উজ্জ্বল। ইহাকে মূখ্য রামধনু (primary rainbow, বলে। দীর্ঘতর ব্যাসের রামধনুটির উজ্জ্বল্য কম হয়। ইহাকে গৌণ রামধনু (secondary rainbow, বলা হয়। বারিবিম্বু হইতে নির্গত হইবার পূর্বে আলোক-রশ্মি উহার অভ্যন্তরে একবার প্রতিফলিত হইয়া যে-রামধনু সৃষ্টি করে তাহাই মূখ্য রামধনু। বারিবিম্বু হইতে নির্গত হইবার পূর্বে আলোক-রশ্মি উহার মধ্যে দুইবার প্রতিফলিত হইয়া যে-রামধনু গঠন করে তাহারি গৌণ রামধনু। গৌণ রামধনুতে বর্ণসজ্জা মূখ্য রামধনুর বর্ণসজ্জার ঠিক বিপরীত। মূখ্য রামধনুতে বাহিরের দিকে লাল রঙ এবং ভিতরের দিকে বেগুনী রঙ দেখা যায়। গৌণ রামধনুতে রঙের সজ্জা ইহার বিপরীত। নিয়ে রামধনু সৃষ্টির কারণ ব্যাখ্যা করা হইল।

মনে করি, একটি আলোক-রশ্মি AB একটি গোলাকার জলকণার উপর B-বিন্দুতে আপতিত হইয়া প্রতি-সরণের পর C-বিন্দুতে প্রতি-ফলিত হইল (আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন নয়) এবং CD পথে গিয়া পুনরায় জল ও বায়ুর বিভেদতলে D-বিন্দুতে আপতিত হইয়া DE-পথে বায়ুতে নিষ্কাশিত



চিত্র 6.9

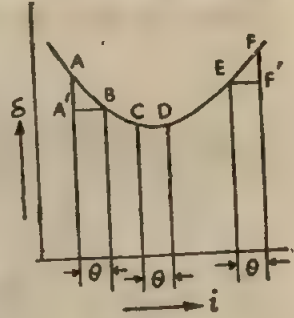
হইল। AB রশ্মির চ্যুতি কোণ =  $\delta$  (চিত্র 6.9)।

প্রকৃতিতে প্রতিসরণ প্রসঙ্গে আলোচনা করিতে গিয়া আমরা উল্লেখ করিয়াছি যে, চ্যুতি কোণের মান ( $\delta$ ) আপতন কোণ  $i$ -এর উপর নির্ভর করে। একটি নির্দিষ্ট কোণে আপতিত হইলে চ্যুতি কোণের মান ন্যূনতম হয়। ঐ কোণ হইতে আপতন কোণের মান বেশি বা কম হইলে চ্যুতি কোণ বাড়িয়া যায়। গোলাকার বিন্দুতে প্রতিসরণের ক্ষেত্রেও

• উচ্চ মাধ্যমিকের বর্তমান পাঠসূচী বিহীনত।

একথা সত্য। নিম্নতম চ্যুতির একটি বৈশিষ্ট্য এই যে, যে-কোণে আপতিত হইলে চ্যুতিকোণের মান সর্বনিম্ন সেই কোণ হইতে কিছটা বেশি বা কম কোণে আপতিত হইলে চ্যুতির শব্দ সামান্য পরিবর্তন হয়। অন্য কোন কোণে আপতিত হইলে আপতন কোণের একই পরিমাণ পরিবর্তনের জন্য চ্যুতিকোণ অনেক বেশি বদলায়। আপতন কোণ  $i$  এবং চ্যুতিকোণ  $\delta$ -এর সম্পর্কের লেখচিত্রটি বিচার করিলে ইহা সহজেই বুঝিতে পারিবে। 6.10 নং চিত্রে A ও B বিন্দুতে, C ও D বিন্দুতে এবং E ও F বিন্দুতে আপতন কোণের পার্থক্য  $\theta$  কোণের সমান। A-বিন্দু হইতে B-বিন্দুতে আসিতে আপতন কোণের পরিবর্তন  $\theta$ , এবং ইহার ফলে চ্যুতির পরিবর্তন  $=AA'$ । অনুরূপভাবে, E হইতে F-এ আসিতে আপতন কোণের পরিবর্তন  $\theta$  এবং ইহার ফলে চ্যুতিকোণের পরিবর্তন  $=FF'$ । আপতন কোণের একই পরিবর্তন  $\theta$ -এর জন্য CD অংশে চ্যুতিকোণ কার্যত বদলাইতেছে না। লক্ষ্য কর, C ও D বিন্দু ন্যূনতম চ্যুতির কাছাকাছি। নিম্নতর বিচ্যুতির এই ধর্ম রামধনু সৃষ্টির ব্যাপারে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

গাণিতিক হিসাব-নিকাশ করিয়া দেখান যায় যে, একটি অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের ক্ষেত্রে আপতন কোণ



চিত্র 6.10

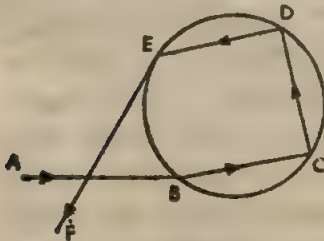
$$i = \cos^{-1} \sqrt{\frac{\mu^2 - 1}{3}} \quad \dots \quad (6.1)$$

হইলে চ্যুতিকোণের মান ন্যূনতম হইবে। 6.1 নং সমীকরণে  $\mu$  হইল জলের প্রতিসরাঙ্ক। লাল এবং বেগুনী আলোর ক্ষেত্রে জলের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.33 এবং 1.34। 6.1 নং সমীকরণ হইতে দেখান যায় যে, লাল আলোর ক্ষেত্রে চ্যুতিকোণের মান ন্যূনতম হইতে গেলে আপতন কোণ  $i = 59^\circ.6$  এবং বেগুনী আলোর ক্ষেত্রে  $i = 58^\circ.8$  হইবে। আপতন কোণ সমীকরণ (6.1) মানিয়া চলিলে লাল রঙের আলোর ক্ষেত্রে চ্যুতিকোণের মান  $= 138^\circ = (180^\circ - 42^\circ)$  (প্রায়)

অনুরূপভাবে, বেগুনী রঙের আলোর ক্ষেত্রে ন্যূনতম চ্যুতি  $= 140^\circ$  (প্রায়)  
 $= 180^\circ - 40^\circ$  (প্রায়)

দুইটি অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের ক্ষেত্রে (চিত্র 6.11) দেখান যায় যে আপতন কোণ

$$i = \cos^{-1} \sqrt{\frac{\mu^2 - 1}{3}} \quad \dots \quad (i)$$



চিত্র 6.11

হইলে চ্যুতিকোণের মান সর্বনিম্ন হইবে। এক্ষেত্রে লাল রঙের আলোর ন্যূনতম চ্যুতিকোণ  $= 231^\circ = 180^\circ + 51^\circ$  (প্রায়)

এবং বেগুনী রঙের আলোর ন্যূনতম চ্যুতিকোণ  $= 234^\circ = 180^\circ + 54^\circ$  (প্রায়)

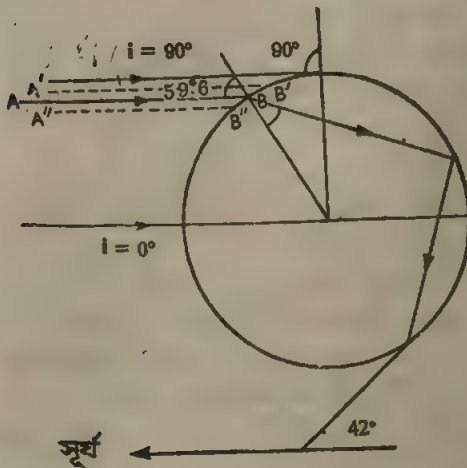
মুখ্য রামধনুর গঠন : একটি গোলাকার

বিন্দুর বিভিন্ন স্থানে পরস্পর সমান্তরাল বিভিন্ন আলোক-রশ্মি আপতিত হইলে বিভিন্ন

স্থানে আপতন কোণ বিভিন্ন হয়। গোলকের কেন্দ্রাভিমুখী রশ্মিটি  $0^\circ$  কোণে এবং পরিধির স্পর্শক রশ্মিটি  $90^\circ$  কোণে আপতিত হয়। ইহাদের মধ্যে একটি রশ্মির আপতন কোণ  $59^\circ.6$ । মনে করি, AB সাদা রশ্মিটি  $59^\circ.6$  কোণে বারিবিম্বুর উপর আপতিত হইয়াছে। ইহা হইতে উদ্ভূত লাল বর্ণের রশ্মিটি ন্যূনতম চ্যুতিকোণে ( $138^\circ = 180^\circ$

$-42^\circ$ ) নিগত হইবে। এই

রশ্মি কোন দর্শকের চোখে সূর্য-  
কিরণের অভিমুখের সহিত  $42^\circ$   
কোণে আনতভাবে আসিতছে  
বলিয়া মনে হইবে (চিত্র 6.12)।  
ন্যূনতম চ্যুতির ক্ষেত্রে আপতন  
কোণ কিছুটা বদলাইলেও  
চ্যুতিকোণ প্রায় এক থাকে  
বলিয়া (AB-রশ্মির কাছাকাছি)  
আপতিত  $A'B'$  বা  $A''B''$   
রশ্মিগুলি হইতে উদ্ভূত লাল  
আলোর রশ্মিগুলিও কার্যত  
একই চ্যুতিকোণ লইয়া বাহির  
হইয়া আসিবে। ইহার ফলে  
সূর্যরশ্মির অভিমুখের সহিত  $42^\circ$   
কোণে আনতভাবে আগত লাল

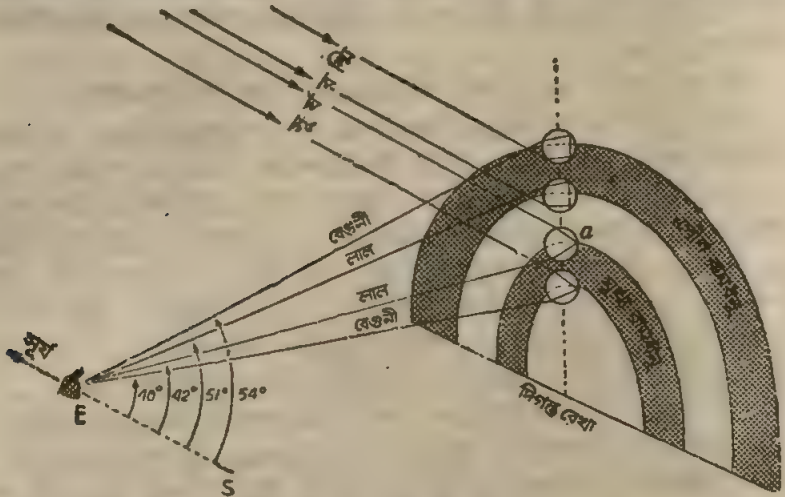


চিত্র 6.12

বর্ণের আলোক-রশ্মি অন্যান্য বর্ণের আলোক-রশ্মির তুলনায় অনেক বেশি হয়। অনুরূপ কারণে সূর্যরশ্মির সহিত  $40^\circ$  কোণে বেগুনী রঙের আলোক-রশ্মি অন্যান্য বর্ণের আলোর তুলনায় অনেক বেশি।

মনে করি, আকাশের একপ্রান্তে বৃষ্টি পড়িতেছে এবং বিপরীত প্রান্ত হইতে বারি-  
বিম্বুর উপর সূর্যকিরণ আসিয়া পড়িতেছে (চিত্র 6.13)। E-বিন্দুতে কোন দর্শক  
সূর্যের বিপরীত দিকে আকাশে ভাসমান জলকণাগুলির দিকে তাকাইয়া আছে। ES  
সূর্যকিরণের গতিমুখের দিকে অঙ্কিত রেখা। এখন E-কে শীর্ষবিন্দু এবং ES-রেখাকে  
অক্ষ ধরিয়া  $42^\circ$  অর্ধশিরঃকোণ-বিশিষ্ট একটি শঙ্কু কল্পনা করি। এই শঙ্কুর সীমানা  
রেখায় অবস্থিত সকল জলবিন্দু (যেমন, a) হইতে একবার আভ্যন্তরীণ প্রতিফলিত  
হইয়া যে-আলো দর্শকের চোখে পড়ে তাহাতে লালবর্ণের আলোর তীব্রতা অন্যান্য বর্ণের  
আলোর তুলনায় অনেক বেশি থাকে, কেননা এই অভিমুখে লালবর্ণের আলোর  
চ্যুতিকোণ ন্যূনতম। সুতরাং,  $42^\circ$  কোণে অঙ্কিত বৃত্তীয় চাপটি দর্শকের চোখে  
লালবর্ণের দেখাইবে। অনুরূপভাবে, ES রেখাকে অক্ষ করিয়া  $40^\circ$  শিরঃকোণ-বিশিষ্ট  
শঙ্কু কল্পনা করিলে ঐ শঙ্কুর ভূমির আংশিক বৃত্তাকার সীমানারেখাটি হইতে বেগুনী  
রঙের আলো ন্যূনতম বিচ্যুতি লইয়া চোখে পৌঁছায়। এই অবস্থায় বেগুনী আলোর  
তীব্রতা অন্যান্য আলো অপেক্ষা অনেক বেশি হয় বলিয়া  $40^\circ$  কোণে বেগুনী রঙের বৃত্তীয়

চাঁপ দেখা যায়। বলা বাহুল্য, বেগুনী ও লাল আলোর মধ্যবর্তী সৌর বর্ণালীর অন্যান্য রঙের বৃত্তীয় চাঁপ সৃষ্টি হইবে উপরি-উক্ত দুই প্রান্তীয় রঙিন বৃত্তীয় চাঁপের মধ্যবর্তী



চিত্র 6.13

অংশে। এইরূপে মুখ্য রামধনুর সৃষ্টি হয়। গৌণ রামধনু গঠনের ব্যাখ্যাও অনুবৃত্তভাবে করা যায়।

### 6.13 বিভিন্ন বস্তুর বর্ণ (Colour of different bodies)

আমরা আমাদের চারিদিকে বিভিন্ন রঙের বস্তু দেখিতে পাই। কোন বস্তুর উপর সাদা আলো পড়িলে যদি বস্তুটি একটি বিশেষ রঙের আলো ভিন্ন অন্য সকল রঙের আলো শোষণ করিয়া লয় তবে বস্তুটিকে ঐ রঙে রঙিন দেখায়। একটি উদাহরণ দিলে উক্তিটির অর্থ স্পষ্ট হইবে। জবা ফুল লাল—কেননা, সূর্যের সাদা আলো উহার উপর পড়িলে লাল ভিন্ন অন্য সকল রঙের আলো শোষিত হয়, কেবলমাত্র লাল আলোই উহা হইতে প্রতিফলিত হইয়া দর্শকের চোখে আসে। অনুবৃত্তভাবে, যে-বস্তু সবুজ রঙের আলো ভিন্ন অন্য সকল রঙের আলো শোষণ করিয়া লয় তাহাকে সবুজ দেখায়। যে-বস্তু সকল রঙের আলোকেই সমভাবে প্রতিফলিত করে তাহাকে সাদা এবং যে-বস্তু সকল আলোকেই শোষণ করিয়া লয় তাহাকে কালো দেখায়।

অন্ধকার ঘরে একটি লাল বস্তু রাখিয়া উহাকে নীল বা সবুজ রঙের আলো দ্বারা আলোকিত করিলে বস্তুটির রঙ কীরূপ হইবে? লাল বস্তু লাল ভিন্ন সকল রঙের আলো শোষণ করে। সুতরাং, নীল বা সবুজ রঙের আলো দ্বারা আলোকিত হইলে বস্তুটি ঐ আলো সম্পূর্ণ শোষণ করিয়া লয়। এইজন্য দর্শকের চোখে কোন আলো আসিয়া পৌঁছায় না, ফলে বস্তুটিকে কালো দেখায়।

স্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ নির্ধারিত হয় উহার মধ্য দিয়া নির্গত (transmitted) আলোর বর্ণের সাহায্যে। সবুজ রঙের একটি স্বচ্ছ কাচের প্লেটের উপর সাদা আলো পড়িলে



শুষ্ক আলোই উহা হইতে বাহির হইয়া আসে, ফলে ঐ আলোর চোখ রাখিলে প্লেটটি সবুজ দেখায়। কোন কোন ঘচ্ছ বস্তুকে প্রতিফলিত আলোর সাহায্যে দেখিলে, উহাদের যে-রঙ প্রতিভাত হয়, উহাদের মধ্য দিয়া নিগত আলোয় দেখিলে সেই রঙ প্রতিভাত হয় না।

● ঘষা কাচের পাতকে ভিজান হইলে উহা প্রায় স্বচ্ছ হইয়া যায় কেন ?

ঘষা কাচের পাতের পৃষ্ঠ অমসৃণ বলিয়া উহার উপর আলোর বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (diffused reflection) ঘটে; এইরূপ কাচের পাতের মধ্য দিয়া আলো অবাধে অন্তঃসৃত (transmitted) হইতে পারে না, ফলে ঘষা কাচের পাত অস্বচ্ছ। যখন জলের সাহায্যে কাচটিকে ভিজান হয় তখন ঐ পাতের উভয় পার্শ্বে একটি জলের ফিল্ম (film) লাগিয়া যায়। ফলে ভিজা অবস্থায় ঘষা কাচের পৃষ্ঠটি কার্যত একটি মসৃণ তলের ন্যায় ক্রিয়া করে। এক্ষেত্রে ঘষা কাচের পৃষ্ঠের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাগুলির চতুর্দিকে বায়ুর পরিবর্তে জল থাকে বলিয়া ঐ কণাগুলি হইতে আলোর বিক্ষেপণ (scattering) হ্রাস পায় এবং অন্তঃসরণ (transmission) বৃদ্ধি পায়। ইহার কারণ নিম্নে ব্যাখ্যা করা হইল :

কোন বস্তুকণা যদি ভিন্ন প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট মাধ্যমে অবস্থান করে তাহা হইলে ঐ বস্তুকণা-কর্তৃক আপতিত আলোর বিক্ষেপণ ঘটে। বস্তুকণার প্রতিসরাঙ্ক এবং উহার পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের পার্থক্য যত বেশি হইবে আলোর বিক্ষেপণও তত বেশি হইবে। শুষ্ক অবস্থায় অমসৃণ ঘষা কাচের পৃষ্ঠের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাগুলির চারিপার্শ্বে বায়ু থাকে। বায়ু ও কাচের প্রতিসরাঙ্কের পার্থক্য বেশি বলিয়া এক্ষেত্রে বিক্ষেপণ বেশি হয়। ভিজা অবস্থায় ঘষা কাচের পৃষ্ঠের কণাগুলির চারিপার্শ্বে জল থাকে। জল ও কাচের প্রতিসরাঙ্কের পার্থক্য অপেক্ষাকৃত কম বলিয়া এই সময় আলোর বিক্ষেপণ হ্রাস পায়, ফলে ভিজা অবস্থায় ঘষা কাচের পাতকে প্রায় স্বচ্ছ দেখায়।

### সার-সংক্ষেপ

সূর্যের সাদা আলো প্রকৃতপক্ষে যৌগিক বা বিমিশ্র আলো। ইহা সাতটি মূল বর্ণের আলোর সমষ্টি। এই বর্ণগুলি হইল (i) বেগুনী, (ii) নীল, (iii) আকাশী, (iv) সবুজ, (v) হলুদ, (vi) কমলা এবং (vii) লাল।

সাদা আলো-কে প্রিজমের মধ্য দিয়া পাঠাইলে উহা সাতটি বর্ণে ভাঙিয়া গিয়া বর্ণালী গঠন করে। প্রিজম বর্ণ সৃষ্টি করে না, ইহা আপতিত আলোতে বিদ্যমান বিভিন্ন বর্ণের আলো-কে পৃথক করিয়া দেয় মাত্র।

যে-বর্ণালীতে একটি বর্ণের আলোর সহিত অন্য বর্ণের আলো মিশ্রিত হয় না তাহাকে বিশুদ্ধ বর্ণালী বলা হয়।

প্রায়  $4 \times 10^{-5}$  cm হইতে প্রায়  $7.8 \times 10^{-5}$  cm তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ আমাদের দর্শনানুভূতি সৃষ্টি করে। এই তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের পাল্লার তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গকে দৃশ্যমান আলো বলা হয়।

বর্ণালী প্রধানত দুই প্রকার—(i) নিঃসরণ বর্ণালী এবং (ii) শোষণ বর্ণালী। কোন আলোক-উৎস হইতে নিঃসৃত আলোর বর্ণালীকে নিঃসরণ বর্ণালী বলা হয়। নিঃসরণ বর্ণালী আবার তিন প্রকার—(i) রেখা বর্ণালী, (ii) পটি বর্ণালী এবং

(iii) ছেদবিহীন বর্ণালী। কোন পদার্থ যখন পারমাণবিক অবস্থায় থাকে তখন উহা কেবলমাত্র কয়েকটি নির্দিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো নিঃসৃত করে। এই আলোর বর্ণালীকে রেখা বর্ণালী বলা হয়। আণবিক অবস্থায় বিদ্যমান কোন গ্যাসীয় পদার্থ দ্বারা নিঃসৃত আলোর বর্ণালী ছেদবিহীনও নয়, আবার বিচ্ছিন্ন রেখায় তৈয়ারী রেখাবর্ণালীও নয়। ইহাদের বর্ণালী কয়েকটি বিচ্ছিন্ন পটির সমষ্টি। এই বর্ণালীকে পটি বর্ণালী বলা হয়। কঠিন বা তরল অবস্থায় বিদ্যমান কোন পদার্থ উত্তপ্ত এবং ভাব্য হইয়া যে-আলো নিঃসৃত করে উহাতে সকল বর্ণের আলোই বিদ্যমান থাকে। এই আলোর বর্ণালীকে ছেদবিহীন বর্ণালী বলা হয়।

উত্তপ্ত ভাব্য পদার্থ হইতে নিঃসৃত সাদা আলো কম উষ্ণ কোন গ্যাস, এবং তরল বা কঠিন পদার্থের মধ্য দিয়া গেলে ঐ সাদা আলোর বর্ণালীর কোন কোন অংশ শোষিত হয়। ইহাতে সাদা আলোর ছেদবিহীন বর্ণালীতে কতকগুলি কালো রেখা বা পটির সৃষ্টি হয়। এই কালো রেখা বা পটিগুলির সমন্বয়ে শোষণ বর্ণালী বলা হয়। নিঃসরণ রেখা-বর্ণালীও যেমন নিঃসরণকারী পদার্থের পরিচয়-স্ভাপক, শোষণ বর্ণালীও শোষণ পদার্থের পরিচয়-স্ভাপক।

সৌর বর্ণালীতে বহুসংখ্যক কালো রেখা আছে। ইহাদিগকে ফ্রাউনহোফার রেখা বলা হয়। বিজ্ঞানী কিরখ্ফ্ এই রেখাগুলির তাৎপর্য ব্যাখ্যা করেন। এই রেখাগুলি প্রকৃতপক্ষে শোষণ বর্ণালী।

সূর্যের মধ্যবর্তী অংশ উজ্জ্বল। ইহাকে আলোকমণ্ডল (photosphere) বলা হয়। এই অংশকে ঘিরিয়া আছে অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা গ্যাসীয় আবরণ। ইহাকে বর্ণমণ্ডল (chromosphere) বলা হয়। আলোকমণ্ডল হইতে নিঃসৃত সাদা আলো যখন বর্ণমণ্ডলের মধ্য দিয়া যায় তখন ঐ গ্যাসীয় স্তরের শোষণের ফলে সৌর বর্ণালীর ফ্রাউনহোফার রেখাগুলির সৃষ্টি হয়।

বর্ণালী সম্বন্ধীয় মাপ-জোখের উদ্দেশ্যে বর্ণালী-মাপক যন্ত্র বা স্পেকট্রোমিটার ব্যবহৃত হয়।

বায়ুমণ্ডলে আলোর প্রতিসরণের ফলে জ্যোতিষ্কের অবস্থানের আপাত-উন্নতি ঘটে। আকাশের নীলিমা এবং অন্তর্গামী সূর্যের রক্তিমার কারণ বায়ুমণ্ডলের আলোর বিক্ষেপণ।

## প্রশ্নাবলী 6

### হুম্বোল্ডের প্রশ্নাবলী

1. 'প্রিজম বর্ণ সৃষ্টি করে না, উহা বিভিন্ন বর্ণের আলো-কে পৃথক করিয়া দেয় মাত্র।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (দ্বিপদ্য), 1984]
2. সূর্য এবং চন্দ্র অন্ত্র যাইবার সামান্য কিছুক্ষণ পর পর্যন্ত এবং উদিত হইবার কিছুক্ষণ আগে হইতে দেখা যায়। ইহার কারণ কী?
3. প্রিজমের মধ্য দিয়া সাদা আলো পাঠাইলে উহা বিচ্ছুরিত হয় কেন ব্যাখ্যা কর।
4. সৌর-বর্ণালীতে কালো রেখাগুলি (ফ্রাউনহোফার রেখাগুলি) দেখা যায় কেন? ব্যাখ্যা কর।

5. 'একই সময়ে বিভিন্ন স্থানে দণ্ডায়মান দুই ব্যক্তি একই রামধনু দেখে না।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

6. লেন্স-কর্ডক গঠিত প্রতিবিম্বে বর্ণাণেরণ (chromatic aberration) দেখা যায়, কিন্তু দর্পণ-কর্ডক গঠিত প্রতিবিম্বে বর্ণাণেরণ দেখা যায় না। ইহার কারণ কী?

7. নক্ষত্র বিকৃমিক করে, কিন্তু গ্রহগুলি বিকৃমিক করে না কেন ব্যাখ্যা কর।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987]

8. সৌর-বর্ণালীর ফ্রাউনহোফার রেখাগুলি হইতে সূর্যের উপাদান সম্পর্কে নানান তথ্য পাওয়া যায়। উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

9. বে-কাপড়ের টুকরাকে দিনের আলোতে লাল দেখায় উপযুক্তভাবে আলোকিত করিলে রাতিতে উহাকে কালো দেখাইতে পারে, কিন্তু যে-কাপড়কে দিনের আলোতে কালো দেখায় কোনভাবে আলোকিত করিলেই উহাকে রাতিতে লাল দেখাইবে না। যুক্তিসহ ইহার ব্যাখ্যা দাও।

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1976]

10. সবুজ পাতা আর লাল ফুলে সঞ্চিত একটি গাছকে পর পর সবুজ, লাল এবং নীল আলোতে আলোকিত করা হইল। এই সকল ক্ষেত্রে পাতা ও ফুলগুলিকে কীরূপ দেখাইবে?

11. কোন বৈদ্যুতিক ব্যতির আলো যদি একটি লাল কাচের ফলক হইতে প্রতিফলিত হয় তাহা হইলে দুইটি প্রতিবিম্ব দেখা যায়—একটি সাদা এবং অন্যটি লাল। ব্যাখ্যা কর।

12. 'যদি বায়ুমণ্ডল না থাকিত তাহা হইলে পৃথিবীতে দিবালোকের স্থায়িত্ব কমিয়া যাইত।' ব্যাখ্যা কর।

13. আকাশের রঙ নীল হইবার কারণ কী ব্যাখ্যা কর।

14. অন্তঃগামী সূর্যকে লাল দেখায় কেন? ব্যাখ্যা সহ উত্তর দাও।

15. একটি লাল বস্তুকে একবার সাদা আলোতে এবং আর একবার সবুজ আলোতে আলোকিত করিলে কী দেখিবে? ব্যাখ্যা সহ উত্তর দাও। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987]

16. কোন সবুজ বস্তু সাদা আলোর দ্বারা আলোকিত হইলে সবুজ দেখায় কেন? বস্তুটিকে হলুদ আলোর দ্বারা আলোকিত করিলে বস্তুটির রঙ কী হইবে? ব্যাখ্যা সহ উত্তর দাও।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

17. বর্ণালী কাহাকে বলে? প্রিজমের সাহায্যে বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবার পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

18. নিঃসরণ বর্ণালী ও শোষণ বর্ণালী কাহাকে বলে? সৌর-বর্ণালীতে কীভাবে ফ্রাউনহোফার রেখার উৎপত্তি হয়?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

19. সৌর-বর্ণালীতে বে-কালো রঙের রেখাগুলি দেখা যায় উহাদের তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর। ইহাদের সাহায্যে সূর্যের উপাদান সম্পর্কে কী জানা যায়?

20. আলোর বর্ণ আলোক-তরঙ্গের কোন্ ধর্মের উপর নির্ভরশীল? সাদা রঙের আলোকে একটি কাচের প্রিজমের মধ্য দিয়া পাঠাইলে উহা বিচ্ছিন্নিত হয় কেন?

21. (i) বিশুদ্ধ বর্ণালী বলিতে কি বুঝায়? এইরূপ বর্ণালী গঠনের একটি পদ্ধতির সচিত্র বিবরণ দাও। (ii) কত প্রকারের বর্ণালী পাওয়া যায়?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

22. (a) শুদ্ধ ও অশুদ্ধ বর্ণালী কী? (b) পদ্য উপর শুদ্ধ বর্ণালী গঠন করার পদ্ধতি বর্ণনা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980, উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]  
(c) একটি বর্ণালী-বীক্ষণ যন্ত্রের গঠন বর্ণনা কর।

23. (a) আলোর বিচ্ছুরণ বলিতে কী বুঝ? কাচের ভিতর দিয়া বিভিন্ন বর্ণের আলো সঞ্চারিত হইলে কোন্ বর্ণের আলোর গতিবেগ বেশি হইবে? লাল আলোর, ন্যাক নীল আলোর? (b) নিঃসৃত বর্ণালী বলিতে কী বুঝায়? বিভিন্ন প্রকারের নিঃসরণ বর্ণালীর উল্লেখ কর। এইগুলি উৎপাদনের জন্য কী কী ধরনের আলোক উৎস ব্যবহার করা হয়? (c) বর্ণালী বিশ্লেষণের প্রয়োগগুলির উল্লেখ কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

24. (a) আলোর বিচ্ছুরণ কী? (b) নিঃসরণ বর্ণালী ও শোষণ বর্ণালী কাহাকে বলে? নিঃসরণ বর্ণালীর ক্ষেত্রে রেখা বর্ণালী, পটি বর্ণালী এবং অবিচ্ছিন্ন বর্ণালী ও শোষণ বর্ণালীর ক্ষেত্রে অন্ধকার রেখা বর্ণালী এবং অন্ধকার পটি বর্ণালী-সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981]

25. বর্ণালী কাহাকে বলে? বিভিন্ন প্রকার বর্ণালীগুলি কী? বিশুদ্ধ বর্ণালী কাহাকে বলে এবং ইহা কীরূপে উৎপন্ন করা যায়? [সংসদের নতুন প্রশ্ন, 1987]





## মানুষের চোখ

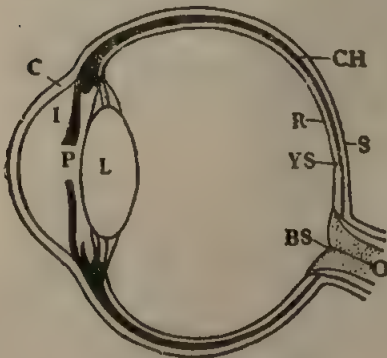
*One of the most wonderful things in nature is a glance of the eye : it transcends speech ; it is the bodily symbol of identity.*

—Emerson

### 7.1 মানুষের চোখ (Human eyes)

মানুষের চোখ বিধাতার তৈয়ারী একটি অত্যাশ্চর্য আলোক-যন্ত্র। মানুষের তৈয়ারী সকল আলোক-যন্ত্র অপেক্ষা ইহা অনেক বেশি বহুমুখী (versatile) এবং জটিল। ইহার গঠন অনেকটা ক্যামেরার মত। ক্যামেরার সামনে কোন বস্তু রাখিলে যেমন পর্দার উপর উহার প্রতিবিম্ব গঠিত হয়, তেমনি চোখের সামনে কোন বস্তু থাকিলে চোখের পর্দায় ঐ বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। চোখের সাহায্যেই রূপ-বর্ণে বিচিত্র বিশ্বজগৎ আমাদের দৃষ্টিগোচর হয়। কাজেই চোখের গঠন সম্বন্ধে আমাদের কিছুটা জ্ঞান থাকা দরকার। নিম্নে চোখের বিভিন্ন অংশের আলোচনা করা হইল (চিত্র 7.1)।

চোখের গঠন : আমাদের অক্ষিগোলক (eyeball) আকারে প্রায় গোল। কয়েকটি মাংসপেশীর সাহায্যে ইহা অক্ষিকোটরের (eye-socket) মধ্যে বিভিন্ন দিকে ঘুরিতে পারে।



চিত্র 7.1 মানুষের চোখ

S—শ্বেতমণ্ডল, C—কর্ণিণা, CH—কৃষ্ণ-মণ্ডল, L—অক্ষি-লেণ, BS—অন্ধ-বিন্দু, YS—হলুদ-বিন্দু, R—রোটিনা, P—চোখের মণি, I—অক্ষি তারকা (iris)

তারকার (iris) আসিয়া শেষ হইয়াছে। ইহা সাধারণত হালকা বা গভীর বাদামী রঙের ;

ঘুরিতে পারে। অক্ষিগোলকটি একটি মজবুত সাদা এবং অস্বচ্ছ আবরণের দ্বারা আবৃত। ইহাকে শ্বেতমণ্ডল (sclera) বলে। এই আবরণ নানাবর্ণ ক্ষতি হইতে চক্ষুর কোমল অংশগুলিকে রক্ষা করে। শ্বেতমণ্ডলের সামনের দিকে মাঝামাঝি জায়গায় একটি স্বচ্ছ অংশ রহিয়াছে। অক্ষিগোলকের অন্যান্য অংশের তুলনায় ইহার বক্রতা বেশি। এই স্বচ্ছ অংশকে কর্ণিণা (cornea) বলা হয়। শ্বেত-মণ্ডলের নিচে কোরোয়েড বা কৃষ্ণমণ্ডল (choroid) নামে কালো রঙের একটি বিজ্ঞারী আস্তরণ থাকে। এই কালো রঙ (pigmentum nigrum) আলোর আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন রোধ করে। কোরোয়েড চোখের সামনে একটি অক্ষি-

তবে গভীর বা হালকা নীল, সবুজ বা ধূসর রঙের চোখের তারাও দেখা যায়। এই তারার মধ্যে একটি ছিদ্র থাকে, তাহাকে চোখের মণি (pupil) বলা হয়। মণির ঠিক পিছনেই থাকে আঁক্ষ-লেন্স (eye lens); ইহা স্বচ্ছ জৈব পদার্থের দ্বারা গঠিত। স্বাভাবিক অবস্থায় এই লেন্সের সম্মুখের তল হইতে পিছনের তলের বক্রতা কিছু বেশি। আঁক্ষ লেন্সটি কতকগুলি রোমশ মাংসপেশীর (ciliary muscles) সাহায্যে আঁক্ষ-গোলকের সহিত যুক্ত। লেন্সটি কয়েকটি স্বচ্ছ স্তরের সমষ্টি। স্তরগুলির প্রতিসরাঙ্ক বাহির হইতে ভিতরের দিকে ক্রমশ বাড়িয়া যায়। লেন্সটির উপাদানগুলির গড় প্রতিসরাঙ্ক 1.437। আঁক্ষ-লেন্স এবং কণিয়ার মধ্যবর্তী অংশ অ্যাকুয়াস হিউমার (aqueous humour) নামক একটি তরল দ্বারা পূর্ণ। আঁক্ষ-লেন্সের পিছনে আঁক্ষগোলকের সমস্ত অংশ একটি স্বচ্ছ জেলির মত পদার্থে পূর্ণ। ইহার নাম ভিট্রিয়াল হিউমার (vitreous humour)। অ্যাকুয়াস হিউমার এবং ভিট্রিয়াল হিউমার—এই দুই তরলেরই প্রতিসরাঙ্ক 1.337 অর্থাৎ জলের প্রতিসরাঙ্কের তুলনায় সামান্য বেশি।

আঁক্ষ-গোলকের পিছনের দিকে একটি গোলাপী পর্দা রহিয়াছে। ইহার নাম রেটিনা বা আঁক্ষপট (retina)। চোখের পিছনের দিকে প্রায় সমস্ত জায়গা জুড়িয়াই রেটিনার অবস্থান। এই পর্দায় বহুসংখ্যক স্নায়ুতন্তু এবং রক্তবহা নালিকা আসিয়া শেষ হইয়াছে। রেটিনায় আলো পড়িলে স্নায়ুতন্ত্রে সাড়া জাগে। এই সাড়া বৈদ্যুতিক সংকেতরূপে স্নায়ুতন্তুর মধ্য দিয়া মস্তিষ্কে গিয়া পৌঁছায় এবং আমাদের দৃষ্টির অনুভূতি জাগায়। রেটিনায় আলোক-সুবেদী (photo-sensitive) দুই ধরনের স্নায়ুতন্তু আছে—যথা, (1) রড (rod) এবং (2) কোন্ (cone)। যখন অঁপ আলোয় আমরা 'রডের' সাহায্যে দেখিতে পাই, তখন বস্তুর গঠনের খুঁটিনাটি বা উহার রঙ সম্বন্ধে আমাদের ধারণা হয় না। যখন জোরালো আলোয় আমরা কোন্-এর সাহায্যে দেখি, তখন আমরা বিভিন্ন বস্তুর বর্ণবৈষম্য বুঝিতে পারি।

রেটিনার মাঝখানে 2 মিলিমিটার ব্যাসের একটি চাপা অংশ আছে। ইহাকে হলুদ বিন্দু (yellow spot) বলে। বস্তুর রঙ এবং বস্তুর খুঁটিনাটি অংশ দেখার ব্যাপারে রেটিনার এই অংশটিই সর্বাপেক্ষা কার্যকর। ইহার কেন্দ্রে 0.3 মিলিমিটার ব্যাসাবিশিষ্ট একটি গোল অংশ আছে। ইহার নাম ফোভিয়া সেন্ট্রালিস (Fovea centralis)। ইহাই রেটিনার সর্বাপেক্ষা সুবেদী (sensitive) অংশ। চোখের মণি ও ফোভিয়া সেন্ট্রালিসের মধ্যবিন্দুকে যুক্ত করিলে যে-সরলরেখা পাওয়া যায় তাহাকে দৃষ্টি-অক্ষ (visual axis) বলা হয়। কণিয়া ও আঁক্ষ-লেন্সের কেন্দ্র দুইটি যোগ করিয়া যে-রেখা পাওয়া যায় তাহাকে আলোক-অক্ষ (optic axis) বলা হয়। আলোক-অক্ষ এবং দৃষ্টি-অক্ষ পরস্পর 5° হইতে 7° কোণ করিয়া থাকে। রেটিনার যে-স্থানে চক্ষুনাড়গুলি (optic nerves) চোখের মধ্যে ঢুকিয়াছে সে-স্থানে আলো পড়িলে দৃষ্টির অনুভূতি জাগে না। তাই ঐ স্থানকে অন্ধবিন্দু (blind spot) বলে।

অন্ধবিন্দু বা ব্লাইণ্ড স্পটের অস্তিত্ব প্রমাণের জন্য একটি সহজ পরীক্ষা করা যায়। 7.2 নং চিত্রে একটি X-চিহ্ন, একটি কালো বৃত্ত এবং একটি বর্গক্ষেত্র আঁকিত আছে। বইটিকে হাত দিয়া ধরিয়া চোখের কিছুটা দূরে রাখ। এইবার বাম চোখ বন্ধ করিয়া শুধুমাত্র ডান চোখে স্থিরভাবে X-এর দিকে তাকাও। এই সময় কালো বৃত্ত এবং বর্গ-

ক্ষেত্রটিকে দেখা যাইবে। এইবার বইটিকে ধীরে ধীরে চোখের কাছে আনিতে থাক। দেখিবে এক সময় বর্গক্ষেত্রটি অদৃশ্য হইয়া গেল। অন্ধাবস্থাতে ইহার প্রতিবিম্ব গঠিত



চিত্র 7.2

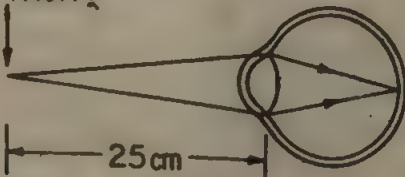
হইয়াছে বলিয়া ইহাকে দেখা যাইতেছে না। বইটিকে চোখের আরও একটু কাছে আনিতে কালো বৃত্তটি অদৃশ্য হইবে, কিন্তু বর্গক্ষেত্রটি দেখা যাইবে।

চোখের কার্য : কর্ণিয়া, আকুয়াস হিউমার, অক্ষি-লেণ এবং ভিট্রিয়াস হিউমার—ইহারা যন্ত্রভাবে অভিসারী লেন্সের মত ক্রিয়া করে। চোখের সম্মুখে কোন বস্তু থাকিলে ঐ বস্তু হইতে আগত আলোক-রশ্মিগুচ্ছ চোখের ঐ অভিসারী মাধ্যমের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া অক্ষিপটের উপর বস্তুর সদৃশ ও অবশীর্ষ (inverted) প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। অক্ষি-তারকার হ্রদ ছোট-বড় করিয়া আমরা চোখে প্রবিষ্ট আলোর পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করিতে পারি। অক্ষিপটে বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে চক্ষুনাভ বৈদ্যুতিক সংকেতের আকারে উহার সংবাদ মস্তিষ্কে পৌঁছাইয়া দেয়, ফলে বস্তু সম্বন্ধে আমাদের দর্শনানুভূতি জন্মে।

স্বাভাবিক অবস্থায় সুস্থ চোখের অক্ষি-লেণের ফোকাস-দূরত্ব এমন হয় যে, দূরের লক্ষ্যবস্তুর সুস্পষ্ট প্রতিবিম্ব রেটিনায় পড়ে। বস্তুর দূরত্ব বদলাইতে থাকিলে প্রতিবিম্বকে রেটিনায় ফেলিবার জন্য ঐ ফোকাস-দূরত্বের পরিবর্তন প্রয়োজন। অক্ষি-লেণের সহিত যুক্ত রোমশ মাংসপেশীর সঙ্কোচনের দ্বারা লেন্সটির দুই পৃষ্ঠের (বিশেষ করিয়া সামনের পৃষ্ঠের) বক্রতা বদলাইয়া উহার ফোকাস-দূরত্বের পরিবর্তন করা হয়। বক্রতা বাড়িলে লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব কমে। লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব পরিবর্তিত হইলে রোমশ মাংসপেশীর ক্রিয়ায় লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব এমনভাবে পরিবর্তিত করা হয় যাহাতে বস্তুর প্রতিবিম্ব সর্বদাই রেটিনায় গঠিত হয়। চোখের এই ক্রিয়াকে উপযোজন (accommodation) বলা হয়।

চোখের উপযোজন ক্ষমতা সীমিত। দেখা গিয়াছে যে, চোখকে শ্রান্ত না করিয়া উপযোজনের সাহায্যে চোখ হইতে 25 cm বা 10 ইঞ্চি পর্যন্ত সকল বস্তুকে স্পষ্ট দেখা যায়। কিন্তু চোখ হইতে বস্তুর দূরত্ব ইহা অপেক্ষা কম হইলে উহাকে স্পষ্ট দেখা চোখের

নিকটবিন্দু



চিত্র 7.3

পক্ষে কষ্টকর। সেইজন্য খুব কাছের বস্তুকে বেশিক্ষণ দেখিতে চেষ্টা করিলে চোখে ব্যাধি অনুভূত হয়। চোখের নিকটতম যে-দূরত্ব পর্যন্ত উপযোজন প্রয়োগ করিয়া স্পষ্ট দেখা সম্ভব সেই দূরত্বকে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব (least distance of distinct vision) বলা হয়। সুস্থ চোখের ক্ষেত্রে এই দূরত্ব 10 ইঞ্চি বা 25 সেন্টিমিটার ধরা হয়

(চিত্র 7.3)। নিকটতম যে-বিন্দু পর্যন্ত বস্তুকে স্পষ্ট দেখা যায় তাহাকে নিকটবিন্দু (near point) বলা হয়। উপযোজন প্রয়োগ না করিয়া চোখ সর্বাপেক্ষা দূরের যে-বিন্দু পর্যন্ত দেখিতে পারে তাহাকে দূরবিন্দু (far point) বলা হয়। সুস্থ চোখের দূরবিন্দু অসীমে ধরা হয় (চিত্র 7.4)। নিকটবিন্দু হইতে দূরবিন্দু পর্যন্ত দূরত্বকে দৃষ্টির পাল্লা (visual range) বলা হয়। এই পাল্লার মধ্যে বস্তু যেখানেই থাকুক না কেন উপযোজন প্রয়োগ করিয়া চোখ উহাকে স্পষ্ট দেখিতে পাইবে।



চিত্র 7.4

● দৃষ্টি-নির্বন্ধ (Persistence of vision): অক্ষিপটে কোন প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে চক্ষুনাভ মস্তিষ্কে যে দর্শনানুভূতি জাগায়, বস্তুটি সরাইয়া লইবার সঙ্গে সঙ্গে তাহা লোপ পায় না, উহা মস্তিষ্কে প্রায়  $\frac{1}{16}$  সেকেন্ড সময় স্থায়ী হয়। ইহাকে দৃষ্টি-নির্বন্ধ বলা হয়। ইহার ফলে, চোখের সম্মুখে যদি দুইটি বিচ্ছিন্ন ঘটনা  $\frac{1}{16}$  সেকেন্ডের মধ্যে ঘটিয়া যায় তবে চোখ উহাদের বিচ্ছিন্ন দেখিবে না, প্রথম ঘটনার দর্শনানুভূতি লুপ্ত হইবার পূর্বেই দ্বিতীয় ঘটনাটির অনুভূতি মস্তিষ্কে গিয়া পৌঁছায় বলিয়া দুইটি ঘটনাকে আবিচ্ছিন্ন মনে হইবে। অতি সহজেই চোখের দৃষ্টি-নির্বন্ধের প্রমাণ করা যায়। চোখের সামনে একটি আঙ্গুলকে দ্রুত নাড়াইতে থাকিলে একই সময়ে বিভিন্ন জায়গায় আঙ্গুলটি দেখিতে পাইবে। আঙ্গুলটি যদি বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন স্থানে থাকে তথাপি দৃষ্টি-নির্বন্ধের জন্য একই সময়ে উহাকে বিভিন্ন স্থানে দেখা যায়। বৈদ্যুতিক পাখা যখন দ্রুত ঘুরিতে থাকে তখন উহার দিকে তাকাইলে মনে হয় রেডগুলি যে-বৃত্তের উপর ঘুরিতেছে উহার সর্বত্রই রেডগুলি রহিয়াছে।

চলচ্চিত্রে আমরা যে-একটানা ছবি দেখি তাহাও দর্শনানুভূতির এই স্থায়ীত্বের জন্য। সময়ের সহিত কোন দৃশ্যের পরিবর্তন হইতে থাকিলে উহার চলচ্চিত্র গ্রহণের জন্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র সময়ের ব্যবধানে পর পর উহার অনেকগুলি ছবি তোলা হয়। এই ছবিগুলির প্রতিটি উহার ঠিক পূর্ববর্তী ছবি হইতে সামান্য পৃথক। এখন ছবিগুলিকে  $\frac{1}{16}$  sec অপেক্ষা কম সময়ের ব্যবধানে পর পর পর্দায় ফেলিলে পর্দায় উক্ত দৃশ্যের চলচ্চিত্র ফুটিয়া উঠে। এই সময় পর্দায় একটানা আলো পড়ে না। একটি ছবি পর্দায় অভিক্ষিপ্ত (projected) হইলে পরবর্তী ছবিটি অভিক্ষিপ্ত হইবার আগে কিছুক্ষণের জন্য পর্দা অন্ধকার থাকে। দৃষ্টি-নির্বন্ধের জন্য ইহা আমরা অনুভব করি না।

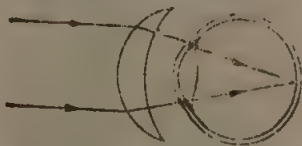
● দুইটি চোখ থাকার সুবিধা কী? ডান চোখ এবং বাম চোখ—ইহারা উভয়েই রেটিনা বা অক্ষিপটে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করে। লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে দুই চোখের অবস্থান এক নয় বলিয়া দুই চোখ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব দুইটিও অভিন্ন হয় না। কেননা ডান চোখ লক্ষ্যবস্তুর ডানপাশে বেশি দেখে এবং বাম চোখ লক্ষ্যবস্তুর বামপাশে বেশি দেখে। বাম চোখ এবং ডান চোখ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বদ্বয় ভিন্ন হইলেও আমরা এই দুই প্রতিবিম্বকে আলাদাভাবে দেখি না। মস্তিষ্ক এই দুই



প্রয়োগ করিয়া আর ইহাকে দেখা যায় না ; সুতরাং স্বাভাবিক চোখ যে-নিকটতম দূরত্ব পর্যন্ত দেখিতে পায়, উপরি-উক্ত দুটিপূর্ণ চোখ তত নিকটের বস্তু দেখিতে পায় না। চোখের এই দুটিকে দীর্ঘ দৃষ্টি বা হাইপারমেট্রোপিয়া বলা হয়। স্বাভাবিক চোখের বেলায় নিকটবিন্দুর দূরত্ব প্রায় 25 cm, উপরি-উক্ত দুটিপূর্ণ চোখের ক্ষেত্রে এই দূরত্ব তদপেক্ষা বেশি।

দীর্ঘ দৃষ্টি নামক দুটি-যুক্ত চোখ দূরের জিনিস স্পষ্ট দেখিতে পায়, কিন্তু কাছের জিনিস স্পষ্ট দেখিতে পায় না।

দীর্ঘ দৃষ্টির সংশোধন : 7.5 নং চিত্র হইতে দেখা যাইতেছে যে, এই দুটিযুক্ত চোখের লেন্সের দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব রেটিনায় না পড়িয়া উহার পিছনে পড়িতেছে। কোন উপায়ে অক্ষ-লেন্সের অভিসারিতা (convergence) বাড়াইতে পারিলে ঐ প্রতিবিম্বকে রেটিনার উপরে আনা যায়। এই উদ্দেশ্যে চোখের সামনে সঠিক ক্ষমতার একটি অভিসারী



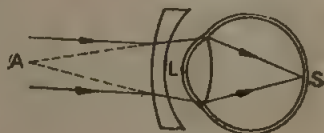
চিত্র 7.6

লেন্স ব্যবহার করিতে হয় (চিত্র 7.6)।

(2) হ্রস্ব দৃষ্টি বা হাইওপিয়া (Short sight or myopia) : কখনও কখনও চোখের অবস্থা এমন হইতে পারে যে, দূরবর্তী বস্তু হইতে আগত আলোক-রশ্মি স্বাভাবিকভাবে রক্ষিত চোখের উপর পড়িলে অক্ষ-লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া রেটিনায় পৌঁছবার আগেই (7.7a নং চিত্রের Q বিন্দুতে) মিলিত হইয়া প্রতিবিম্ব গঠন করে। উপ-যোজন প্রয়োগ করিয়া উহাকে রেটিনায় আনা সম্ভব হয় না। অক্ষ-লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব স্বাভাবিক অপেক্ষা কম হইলে বা অক্ষগোলকের আকার বাড়িয়া গেলে এই দুটি দেখা যায়। বস্তু নিকটে আসিলে প্রতিবিম্ব দূরে সরিয়া যায় ; সুতরাং এমন একটি বিন্দু A পাওয়া যাইবে যেখানে বস্তু রাখিলে স্বাভাবিক চোখ রেটিনার উপর (চিত্রে S বিন্দুতে) প্রতিবিম্ব গঠন করবে (চিত্র 7.7a)। A-বিন্দুটিকে হ্রস্ব দৃষ্টিসম্পন্ন চোখের দূরবিন্দু বলা যায়।



(a)



(b)

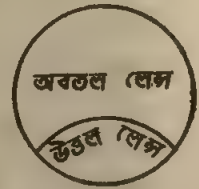
চিত্র 7.7

কোন বস্তু A-বিন্দু অপেক্ষা নিকটবর্তী হইলে চোখ উপযোজনের সাহায্যে উহার প্রতিবিম্ব রেটিনায় ফেলিতে পারে। সুতরাং এইরূপ চোখ A-বিন্দু অপেক্ষা নিকটতর বস্তুকে স্পষ্ট দেখিতে পায়। অর্থাৎ, হ্রস্ব দৃষ্টিসম্পন্ন চোখ অসীম দূরত্ব হইতে, A দূরত্ব পর্যন্ত স্পষ্ট দেখিতে পায় না, কিন্তু কাছের বস্তুকে স্পষ্ট দেখিতে পায়।

হ্রস্ব দৃষ্টির সংশোধন : 7.7 (b) নং চিত্র হইতে বুঝা যাইতেছে যে, হ্রস্ব দৃষ্টিসম্পন্ন চোখের লেন্স স্বাভাবিক অপেক্ষা বেশি অভিসারী (converging)। কোন উপায়ে অক্ষ-লেন্সের অভিসারিতা (convergence) কমাইতে পারিলে দূরবর্তী বস্তু হইতে আগত

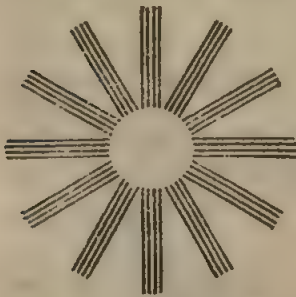
রশ্মিগুলি রেটিনায় প্রতিবিম্ব গঠন করিতে পারিবে। এই উদ্দেশ্যে চোখের সামনে উপযুক্ত ক্ষমতাসম্পন্ন একটি অবতল লেন্স রাখা হয়। সংশোধনকারী অপসারী লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব চূড়ান্ত চোখের দূরবিন্দু A-এর দূরত্বের সমান হওয়া প্রয়োজন। তাহা হইলে অসীম দূরত্ব হইতে আগত আলোক-রশ্মিগুলি অবতল লেন্সের উপর আপতিত হইয়া A বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। ফলে আঁক্ষ-লেন্স-এর সাহায্যে উহারা রেটিনায় উপর প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। সুতরাং এইরূপ লেন্সের সহায়তায় হৃদয় দৃষ্টিসম্পন্ন চোখও স্বাভাবিক চোখের ন্যায় বহু দূরের জিনিস দেখিতে পারিবে।

(3) ক্রীণ-দৃষ্টি বা প্রেসবাইওপিয়া (Presbyopia) : বয়োবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে মাংসপেশী শিথিল হইয়া পড়ে বলিয়া চোখের উপযোজন-ক্ষমতাও কমিতে থাকে। উপযোজন-ক্ষমতা কমিবার ফলে কাছের জিনিস আর দৃষ্টিগোচর হয় না। এই দুটিকে ক্রীণদৃষ্টি বলা হয়। চলিত কথায় ইহাকে চাঙ্ক-ধরা বলা হয়। চোখের এই দুটির ফলে নিকট বিন্দু 25 cm হইতে দূরে সরিয়া যায়। এইরূপ চোখের দূরবিন্দু স্বাভাবিক দূরত্বে থাকিতে পারে। তবে অনেক বয়স্কান লোকেরই দূরবিন্দু স্বাভাবিক হইতে কম দূরে থাকে এবং নিকটবিন্দু স্বাভাবিক হইতে বেশি দূরে থাকে। এই যুগ্ম দোষ দূর করিবার জন্য অপসারী এবং অভিসারী উভয় প্রকার লেন্সই বোধভাবে ব্যবহার করা হয়। দূরের জিনিস স্পষ্ট দেখিবার জন্য একটি অবতল লেন্স এবং কাছের জিনিস দেখিবার জন্য একটি উত্তল লেন্স প্রয়োজন। একটি গোলাকার ফ্রেমের দুই অর্ধে দুই ধরনের লেন্স আটকান থাকে (চিত্র 7.8)। দূরের জিনিস দেখিবার সময় উপরের অবতল লেন্সের মধ্য দিয়া দেখিতে হয় এবং নিকটের জিনিস দেখিবার সময় নিচের উত্তল লেন্সের মধ্য দিয়া দেখিতে হয়। এইরূপ লেন্সকে বাইফোকাল লেন্স (bifocal lens) বলা হয়। বেঞ্জামিন ফ্র্যাঙ্কলিন নিজের ব্যবহারের জন্য এইরূপ লেন্স আবিষ্কার করেন।



চিত্র 7.8

(4) বিষম দৃষ্টি বা অ্যাস্টিগ্ম্যাটিজম্ : চোখের লেন্স সংস্থা (lens-system of the eye) গোলায় না হইয়া বিভিন্ন তলে ইহার বক্রতা বিভিন্ন হইলে চোখের বিষম



চিত্র 7.9

দৃষ্টি বা অ্যাস্টিগ্ম্যাটিজম্ নামক দুটি দেখা দেয়। সাধারণত বিভিন্ন তলে কণিয়ার অসম বক্রতার জন্যই এই দুটির উদ্ভব হয়। এইরূপ দুটিযুক্ত চোখ একই দূরত্বে অবস্থিত পরস্পর অভিলম্বে অবস্থিত (mutually perpendicular) দুইটি রেখার একটিকে স্পষ্ট দেখিতে পায় না। 7.9 নং চিত্রে বিভিন্ন কোণে আনত তিনটি করিয়া সমান্তরাল সরলরেখা আঁকিত হইয়াছে। বিষম দৃষ্টিসম্পন্ন কোন ব্যক্তি এই রেখাগুলির দিকে তাকাইলে সকল সমান্তরাল রেখাগুলিকে সমানভাবে উজ্জ্বল দেখিবে না। বিভিন্ন

তলে চোখের লেন্স-সংস্থার বক্রতার অসমতার জন্য বিভিন্ন তলে হইতে আগত আলোক-রশ্মিগুচ্ছ একই সঙ্গে রেটিনায় প্রতিবিম্ব গঠন করিতে পারে না বলিয়াই এইরূপ হয়।

**বিষয় দৃষ্টির সংশোধন :** বিভিন্ন তলে চোখের লেন্স-সংস্থার বক্রতার বিভিন্নতাই এই ত্রুটির কারণ। বিভিন্ন তলে বিভিন্ন বক্রতাসম্পন্ন লেন্সের সাহায্যে এই ত্রুটি দূর করা যায়। এই উদ্দেশ্যে সাধারণত তিন রকমের লেন্স ব্যবহার করা হয়। যথা—

(i) একদিকে সমতল ও অন্য দিকে বেলনাকার তল দ্বারা গঠিত লেন্স (plano-cylindrical lens), (ii) একদিকে গোলায়ী ও অন্য দিকে বেলনাকার তল দ্বারা সৃষ্ট লেন্স (sphero-cylindrical lens), (iii) পরস্পর অভিলম্ব দুই দিকে বিভিন্ন বক্রতার গোলায়ী তল দ্বারা সৃষ্ট লেন্স (toric lens)।

• সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

**উদাহরণ 7.1** কীণ দৃষ্টিসম্পন্ন এক ব্যক্তি 10 cm দূরের ছাপান লেখা ভালভাবে পড়িতে পারেন। কী ধরনের লেন্স ব্যবহার করিলে তিনি চোখ হইতে 60 cm দূরের লেখা পড়িতে পারিবেন?

**সমাধান :** ব্যক্তির চোখের দূরবিন্দুর দূরত্ব = 10 cm ; সুতরাং লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব এমন হওয়া প্রয়োজন বাহাতে উহা হইতে 60 cm দূরে রাখিত বস্তু প্রতিবিম্ব 10 cm দূরে গঠিত হয়। মনে করি, লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব =  $f$  cm

$$\text{লেন্সের সাধারণ সমীকরণ হইতে পাই, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{এখানে } u = 60 \text{ cm এবং } v = 10 \text{ cm} \quad \therefore \frac{1}{10} - \frac{1}{60} = \frac{1}{f} \quad \text{বা, } f = 12 \text{ cm}$$

$$\therefore \text{লেন্সটির ক্ষমতা} = -\frac{100}{f(\text{cm})} = -\frac{100}{12} = -8.33 \text{ ডাইঅপ্টার}$$

**উদাহরণ 7.2** দীর্ঘ দৃষ্টিসম্পন্ন (long sighted) এক ব্যক্তির চোখের স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব 50 cm। কী ধরনের চশমা ব্যবহার করিলে তিনি এই দূরত্বকে 25 cm-এ নামাইয়া আনিতে পারেন? চশমার লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব এবং ক্ষমতা কত হইবে?

**সমাধান :** এক্ষেত্রে  $u = 25 \text{ cm}$ ,  $v = 50 \text{ cm}$

$$\text{আমরা জানি, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \therefore \frac{1}{50} - \frac{1}{25} = \frac{1}{f} \quad \therefore f = -50 \text{ cm}$$

ফোকাস-দূরত্ব ঋণাত্মক বলিয়া চশমার লেন্সটি উত্তল হইবে।

$$\text{সুতরাং, লেন্সের ক্ষমতা, } P = -\frac{100}{f} = \frac{100}{50} = 2 \text{ ডাইঅপ্টার}$$

**উদাহরণ 7.3** যে-ব্যক্তির চোখের নিকটবিন্দু চোখ হইতে 35 cm দূরে এবং দূরবিন্দু চোখ হইতে 4 m দূরে অবস্থিত তিনি যদি (i) দূরবর্তী বস্তু দেখিতে চান এবং (ii) চোখ হইতে 25 cm দূরত্বে রাখিত বই পড়িতে চান, তাহা হইলে তাঁহার চোখে যে-লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে তাহা কী?

**সমাধান :** (i) আলোচ্য ব্যক্তির দূরবিন্দু 4 m দূরে অবস্থিত বলিয়া অসীম দূরত্ব পর্যন্ত দেখিতে হইলে তাঁহার চোখে এইরূপ লেন্স ব্যবহার করা প্রয়োজন বাহাতে বস্তু-দূরত্ব অসীম হইলে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব 4 m হইবে।

$$\text{আমরা জানি, } \frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u} \quad \dots (i)$$

এই সমীকরণে  $v=4$  m এবং  $u=\infty$  বসাইয়া পাই,  $f=4$  m

ফোকাস-দূরত্ব ধনাত্মক বলিয়া এই লেন্স অপসারী। কাজেই দূরবর্তী বস্তু দেখিবার জন্য 4 m ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট অপসারী লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে।

(ii) দ্বিতীয় ক্ষেত্রে এমন লেন্স প্রয়োজন বাহাতে লক্ষ্যবস্তু উহা হইতে 35 cm দূরে অবস্থিত হইলে 25 cm দূরে উহার প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

$$\text{কাজেই, } \frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{35} - \frac{1}{25} = -\frac{2}{175} \text{ cm} \therefore f = -87.5 \text{ cm}$$

এক্ষেত্রে, ফোকাস-দূরত্ব ঋণাত্মক বলিয়া এই লেন্স অভিসারী।

● স্পষ্টতই, এক্ষেত্রে ব্যক্তির চোখে বাই-ফোকাল লেন্স লাগিবে। এইরূপ ক্ষেত্রে সাধারণত একই চশমার উপরের অংশে দূরবর্তী বস্তু দেখিবার জন্য অপসারী লেন্স এবং নিচের অংশে নিকটবর্তী বস্তু দেখিবার জন্য অভিসারী লেন্স ব্যবহার করা হয়।

**উদাহরণ 7.4** হুস দৃষ্টিসম্পন্ন এক ব্যক্তির চোখের দূরবিন্দু এবং নিকটবিন্দু চোখ হইতে যথাক্রমে 80 cm এবং 25 cm দূরে অবস্থিত। যদি ঐ ব্যক্তি অসীম দূরত্ব পর্যন্ত দেখিতে চান তাহা হইলে তাঁহাকে যে-লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে উহার ক্ষমতা কত? ঐ লেন্স ব্যবহার করিলে তাহার নিকটবিন্দু কোথায় অবস্থিত হইবে?

**সমাধান :** প্রস্থানুসারে, ব্যক্তির চোখে এইরূপ লেন্স ব্যবহার করা দরকার বাহাতে লেন্সটি অসীম দূরত্বে অবস্থিত কোন বস্তুর অসদৃশি চোখ হইতে 80 cm দূরে গঠন করে। অর্থাৎ,  $u = \infty$  হইলে  $v = 80$  cm হইবে।

$$\text{এখন, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \text{বা, } \frac{1}{80} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{f} \quad \text{বা, } f = 80 \text{ cm}$$

$$\therefore \text{লেন্সের ক্ষমতা} = -\frac{100}{f(\text{cm})} = -\frac{100}{80} = -1.25 \text{ D}$$

মনে করি, লেন্সটি ব্যবহার করিলে চোখের নিকটবিন্দু চোখ হইতে  $x$  cm দূরত্বে সরিয়া যায়। কাজেই,  $u = x$  cm হইলে  $v = 25$  cm হইবে। অর্থাৎ,  $\frac{1}{25} - \frac{1}{x} = \frac{1}{f} = \frac{1}{80}$

$$\text{বা, } \frac{1}{x} = \frac{1}{25} - \frac{1}{80} \quad \text{বা, } x = \frac{400}{11} = 36\frac{4}{11} \text{ cm}$$

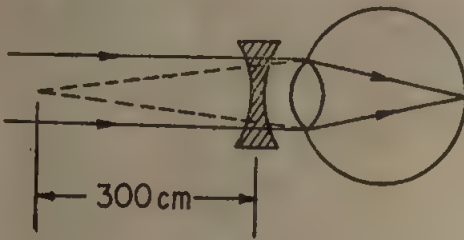
**উদাহরণ 7.5** এক ব্যক্তি তাহার চোখ হইতে 50 cm এবং 300 cm দূরত্বের মধ্যে বিদ্যমান বস্তু সুস্পষ্টভাবে দেখিতে পারে। (i) অসীম দূরত্ব পর্যন্ত স্পষ্টভাবে দেখিতে হইলে এবং (ii) স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বকে 25 cm-এ আনিতে হইলে তাহাকে কীরূপ চশমা ব্যবহার করিতে হইবে? এই দুই ক্ষেত্রে তাহার দৃষ্টির পাল্লা কী হইবে নির্ণয় কর।

[জ্যের্স্ট ম্যাট্রিকুলেশন বোর্ড, U. K.]

**সমাধান :** (i) অসীম দূরত্ব পর্যন্ত স্পষ্টভাবে দেখিতে হইলে আলোচ্য ব্যক্তিকে এইরূপ লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে বাহাতে অসীম দূরত্বে অবস্থিত কোন বিন্দু হইতে আগত সমান্তরাল আলোক-রশ্মিগুচ্ছ ঐ লেন্সে প্রতিসরণের পর 300 cm দূর হইতে আঁসিতেছে বলিয়া মনে হয় (চিত্র 7.10)। স্পষ্টতই, এক্ষেত্রে লেন্সটি অপসারী লেন্স হইবে এবং ইহার ফোকাস-দূরত্ব হইবে  $f=300$  cm। এই লেন্স ব্যবহার করিলে আলোচ্য ব্যক্তি অসীম দূরত্বে অবস্থিত



বস্তু স্পষ্ট দেখিতে পাইবে। এই চশমা চোখে দিলে তাহার নিকটবিন্দু কোথায় অবস্থিত হইবে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে।



চিত্র 7.10

$$\text{বা, } \frac{1}{(50 \text{ cm})} - \frac{1}{u} = \frac{1}{300 \text{ cm}}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{u} = \left( \frac{1}{50} - \frac{1}{300} \right) \text{ cm}^{-1} = \frac{1}{60} \text{ cm}^{-1}$$

$$\text{বা, } u = 60 \text{ cm}$$

সুতরাং, এই চশমা ব্যবহার করিলে আলোচ্য ব্যক্তির দৃষ্টির পাল্লা হইবে 60 cm হইতে অসীম দূরত্ব পর্যন্ত।

(ii) স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বকে 50 cm হইতে 25 cm-এ নামাইয়া আনিতে হইলে ঐ ব্যক্তিকে এমন লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে যাহাতে কোন বস্তু চোখ হইতে 25 cm দূরে অবস্থিত হইলে উহার প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে 50 cm দূরত্বে।

$$\text{এখন, } \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{(50 \text{ cm})} - \frac{1}{(25 \text{ cm})} = \frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{f} = -\frac{1}{50} \text{ cm}^{-1}$$

$$\text{বা, } f = -50 \text{ cm}$$

খণ্ডক-চিহ্নটির তাৎপর্য এই যে, এক্ষেত্রে চশমার লেন্সটি উত্তল বা অভিসারী হইবে। এই চশমা ব্যবহার করিলে ঐ ব্যক্তির দূরবিন্দু কোথায় অবস্থিত হইবে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে।

ধরি, এই লেন্সের চশমা পরিলে আলোচ্য ব্যক্তির দূরবিন্দুটি চোখ হইতে  $u$  দূরত্বে অবস্থিত হয়। কাজেই, লেন্স হইতে  $u$  দূরত্বে অবস্থিত কোন বস্তুর প্রতিবিম্বটি চোখ হইতে 300 cm দূরে গঠিত হইবে। কাজেই, লেন্স-সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\frac{1}{(300 \text{ cm})} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{(50 \text{ cm})}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{u} = \left( \frac{1}{300} + \frac{1}{50} \right) \text{ cm}^{-1}$$

$$\text{বা, } u = \frac{300}{7} \text{ cm} = 42\frac{6}{7} \text{ cm}$$

সুতরাং, এই চশমা চোখে দিলে আলোচ্য ব্যক্তির দৃষ্টির পাল্লা হইবে 25 cm হইতে  $42\frac{6}{7}$  cm পর্যন্ত।

## সার-সংক্ষেপ

চোখের গঠন অনেকটা ক্যামেরার মত। ইহার প্রধান অংশগুলি হইল : কর্ণিয়া, মণি, অক্ষি-লেন্স এবং রেটিনা। কর্ণিয়া এবং অক্ষি-লেন্সের মধ্যবর্তী অংশ অ্যাকুয়াস হিউমার নামে একটি তরল দ্বারা পূর্ণ থাকে। অক্ষি-লেন্সের পিছনে থাকে আর একটি তরল। ইহার নাম ভিট্রিয়াস হিউমার। অ্যাকুয়াস হিউমার এবং ভিট্রিয়াস হিউমারের প্রতিসরাঙ্ক প্রায় 1.337। রেটিনায় দুই ধরনের আলোক-সুবেদী স্নায়ুতন্তু আছে ; যথা—(i) রড এবং (ii) কোন্। রেটিনায় সর্বাপেক্ষা সুবেদী অংশটির নাম ফোভিয়া সেন্ট্রালিস।

কর্ণিয়া, অ্যাকুয়াস হিউমার, অক্ষি-লেন্স এবং ভিট্রিয়াস হিউমার—ইহারা যুক্তভাবে অভিসারী লেন্সের মত ক্রিয়া করে।

অক্ষি-লেন্সের সহিত যুক্ত মাংসপেশীর সংকোচন-প্রসারণের সাহায্যে অক্ষি-লেন্সটির ফোকাস-দূরত্বের পরিবর্তন ঘটান যায়। এইরূপে চোখ হইতে বিভিন্ন দূরত্বে অবস্থিত বস্তুর প্রতিবিম্ব রেটিনায় ফেলা যায়। চোখের এই ক্রিয়াকে উপযোজন বলা হয়। উপযোজন প্রয়োগ না করিয়া কোন ব্যক্তি সর্বাপেক্ষা দূরের যে-বিন্দু পর্যন্ত স্পষ্টভাবে দেখিতে পান তাহাকে ঐ ব্যক্তির চোখের দূরবিন্দু বলা হয়। সুস্থ ব্যক্তির চোখের দূরবিন্দু অসীম দূরত্বে অবস্থিত হয়। সুস্থ চোখের স্পষ্টদর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব 25 cm। অর্থাৎ, স্বাভাবিক চোখে নিকটবিন্দুটি চোখ হইতে 25 cm দূরে অবস্থিত।

চোখে আলো পড়িলে যে-দর্শনানুভূতি জাগে, ঐ আলো অপসৃত হইলেও সেই অনুভূতি তৎক্ষণাৎ লোপ পায় না, প্রায় ১/৮ সেকেন্ড সময় মস্তিষ্কে সেই অনুভূতির রেশ থাকিয়া যায়। দর্শনানুভূতির এই স্থায়িত্বকে দৃষ্টি-নির্বন্ধ বলা হয়।

চোখের দুটি সাধারণত চার প্রকার—(i) দীর্ঘ দৃষ্টি, (ii) হ্রস্ব দৃষ্টি, (iii) কণী দৃষ্টি এবং (iv) বিষমদৃষ্টি।

দীর্ঘদৃষ্টি নামক দুটিযুক্ত চোখ দূরের জিনিস স্পষ্ট দেখিতে পায়, কিন্তু কাছের জিনিস স্পষ্ট দেখিতে পায় না। উপযুক্ত ক্ষমতাসম্পন্ন অভিসারী লেন্স ব্যবহার করিয়া চোখের এই দুটি দূর করা যায়।

হ্রস্ব দৃষ্টিসম্পন্ন ব্যক্তি অসীম দূরের জিনিস ভাল দেখিতে পায় না, কিন্তু কাছের জিনিস স্পষ্টভাবে দেখিতে পায়। এই দুটি দূর করিবার জন্য উপযুক্ত ক্ষমতাসম্পন্ন অপসারী লেন্স বা অবতল লেন্স ব্যবহার করিতে হয়।

বয়োবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে চোখের উপযোজন-ক্ষমতা হ্রাস পায়। তখন কাছের বস্তু স্পষ্ট দেখা যায় না। এই দুটিকে কণী দৃষ্টি বলা হয়। এইরূপ চোখের দূরবিন্দু স্বাভাবিক দূরত্বে থাকিতে পারে আবার নাও থাকিতে পারে। অনেক বয়স্কান ব্যক্তির দূরবিন্দুও স্বাভাবিক অপেক্ষা কম দূরত্বে থাকিতে পারে। এইরূপ দুটি দূর করিবার জন্য বাইফোকাল লেন্স ব্যবহার করিতে হয়।

বিষম দৃষ্টিসম্পন্ন চোখ একই দূরত্বে পরস্পর অভিলম্বে অবস্থিত দুইটি রেখার একটিকে স্পষ্টভাবে দেখিলে অন্যটি স্পষ্ট দেখে না। বিভিন্ন তলে চোখের লেন্স-সংস্থার বক্রতা-ব্যাসার্ধ বিভিন্ন হইলে এই দুটি দেখা যায়। এই দুটি দূর করিবার জন্য (i) সমতল এবং

বেলনাকার তল দ্বারা গঠিত লেন্স, (ii) গোলায় এবং বেলনাকার তল দ্বারা গঠিত লেন্স, (iii) বিভিন্ন বক্রতার গোলায় তল দ্বারা গঠিত লেন্স ব্যবহৃত হয়।

## প্রশ্নাবলী 7

### হৃদযন্ত্রের প্রশ্নাবলী

1. একটি দৃশ্যমান বৈদ্যুতিক পাথর রেডগুলি পৃথকভাবে দেখা যায় না কেন ব্যাখ্যা কর।
2. চলচ্চিত্রে মানুষের চোখের দৃষ্টি-নির্ভর কাজে লাগান হয়। উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।
3. যে-কাম্পনিক প্রাণী উপবোধনের কোনরূপ পরিবর্তন না করিয়া জলে এবং বায়ুতে অবস্থিত দূরবর্তী বস্তুকে একই রকম স্পষ্ট দেখিতে পায় সেই প্রাণীর কণিয়ার সম্মুখপৃষ্ঠের আকৃতি কীরূপ হইবে?
4. কোন সঁতারু যখন জলের নীচে তাহার চোখ খোলে তখন সে চারিপাশের বস্তুনিচয়ের আবহা আদল দেখিতে পায় মাত্র, কিন্তু যখন সে মুখোস ব্যবহার করে তখন সে স্পষ্ট দেখিতে পায়। ইহার কারণ কী?
5. মানুষের দুইটি চোখ থাকিবার সুবিধা কি?
6. বয়স্ক লোকেরা সাধারণত দূরের জিনিস দেখিতে পারে কিন্তু কাছের জিনিস দেখিতে পারে না। ইহার কারণ কি?
7. হ্রস্ব দৃষ্টি সম্পন্ন ব্যক্তির চোখের দুটি দূর করিবার জন্য কীরূপ চশমা ব্যবহার করিতে হয়? ব্যাখ্যা কর।
8. দীর্ঘ দৃষ্টি দূর করিবার জন্য অভিসারী লেন্স ব্যবহার করা হয় কেন?

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

9. মানুষের চোখের সহিত ফটোগ্রাফিক ক্যামেরার তুলনা কর। মানুষের চোখের উপবোধন বলিতে কী বুঝ? মানুষের চোখের হ্রস্ব দৃষ্টি বা মাইওপিয়া নামক দুটি ব্যাখ্যা কর। এই দুটি কীভাবে দূর করা যায়?
10. মানুষের চোখের গঠন বর্ণনা কর এবং উহার প্রধান অংশগুলির ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর। দীর্ঘ দৃষ্টি এবং হ্রস্ব দৃষ্টি কাহাকে বলে? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980] এই দুইটি দুটি দূর করিবার জন্য কীরূপ লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর।
- (i) চোখের ক্রিয়ার সহিত সাধারণ ক্যামেরার ক্রিয়ার তুলনা কর। (ii) একটি চোখের পরিবর্তে দুইটি চোখ থাকার সুবিধা কী ব্যাখ্যা কর। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]
11. মানুষের চোখের বিভিন্ন দুটি বর্ণনা কর। দীর্ঘ দৃষ্টি এবং হ্রস্ব দৃষ্টির সংশোধনের জন্য কীরূপ লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে? চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া বল।
12. চোখের উপবোধন, নিকটবিন্দু ও দূরবিন্দু বলিতে কী বুঝায়?
13. দৃষ্টির প্রধান দুটিগুলি কী কী? চশমার সাহায্যে কীরূপে ইহাদের প্রতিকার করা যায় তাহা চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

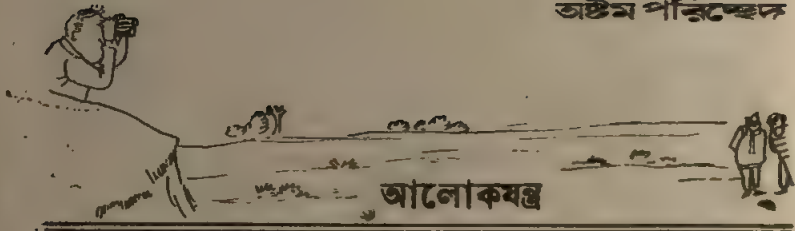
[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981]

[ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়, 1965]

### পাণিতিক প্রশ্নাবলী

14. হৃদ দৃষ্টিসম্পন্ন এক ব্যক্তি 60 cm দূরের কোন বস্তুকে স্পষ্ট দেখিতে পান না। দৃষ্টির এই ত্রুটি দূর করিবার জন্য তাঁহাকে কীৰ্ণ লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে? লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব এবং ক্ষমতা কত হইবে? [60 cm, -1.667 dioptries]
15. দীর্ঘ দৃষ্টিসম্পন্ন এক ব্যক্তির চোখের স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম দূরত্ব 60 cm; এই দূরত্বকে 25 cm-এ নামাইয়া আনিতে হইলে কী ধরনের লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে? লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব এবং ক্ষমতা কত হইবে? [-41.86 cm, 2.33 dioptries]
16. ক্ষীণ দৃষ্টিসম্পন্ন এক ব্যক্তি 15 cm দূরের ছাপান লেখা ভালভাবে পড়িতে পারেন। যে-লেন্স ব্যবহার করিলে তিনি চোখ হইতে 60 cm দূরত্বের লেখা স্পষ্ট পড়িতে পারিবেন তাহার ফোকাস-দূরত্ব কত? [+20 cm]
17. যে-ব্যক্তির চোখের নিকটবিন্দু 40 cm দূরে এবং দূরবিন্দু 6 m দূরে অবস্থিত তিনি যদি (i) দূরবর্তী বস্তু দেখিতে চান এবং (ii) চোখ হইতে 25 cm দূরত্বে রক্ষিত বই পড়িতে চান তাহা হইলে তাহার চোখে যে-বাইফোকাল লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে তাহার দুই অংশের ফোকাস-দূরত্ব কত?
- [ উপরের অংশের ফোকাস-দূরত্ব = 6 m, নিচের অংশের ফোকাস-দূরত্ব = -69.67 cm]
18. হৃদ দৃষ্টিসম্পন্ন এক ব্যক্তির চশমার ক্ষমতা -1.25 ডাইঅপ্টার। ঐ ব্যক্তি চশমা ছাড়া সর্বোচ্চ কত দূর পর্যন্ত পরিষ্কার দেখিতে পারেন? [80 cm]
19. (i) হৃদ দৃষ্টিসম্পন্ন এক ব্যক্তি তাঁহার চোখ হইতে 1 মিটারের বেশি দূরত্বে অবস্থিত বস্তুকে দেখিতে পান না। ঐ ব্যক্তি কত ক্ষমতার চশমা ব্যবহার করিলে অসীম দূরত্ব পর্যন্ত দেখিতে পাইবেন?
- (ii) ঐ লেন্সের চশমাপরা অবস্থায় যদি ব্যক্তিটি 25 cm দূর পর্যন্ত দেখিতে পান তাহা হইলে বিনা চশমায় ঐ ব্যক্তি কতটা কাছের বস্তু স্পষ্ট দেখিতে পাইবেন? [-1 D, 20 cm]





Light is the symbol of truth.

—J. R. Lowell

### 3.1 আলোকবহ্ন

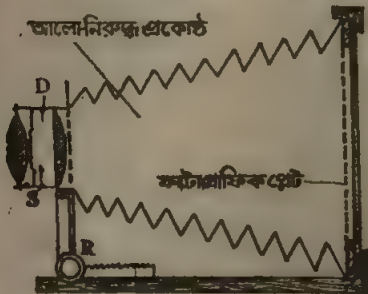
আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণ ইত্যাদি ধর্ম কাজে লাগাইয়া নানাপ্রকার বস্তু তৈয়ারী করা হইয়াছে। ইহাদের বিভিন্ন অংশের ক্রিয়া কার্যত লেন্স, দর্পণ ইত্যাদির ক্রিয়ার উপর নির্ভর করে। এই পরিচ্ছেদে আমরা অনুবর্ণ করে একটি আলোকবহ্ন লইয়া আলোচনা করিব।

### 3.2 আলোকচিত্রগ্রাহী ক্যামেরা (Photographic camera)

ফটোগ্রাফিক ক্যামেরার সহিত আমরা সকলেই অ-পরিচিত পরিচিত। আলোকচিত্র বা ফটোগ্রাফ তুলিবার জন্য এই বস্তু ব্যবহৃত হয়। ইহাই বোঝে করি সর্বাপেক্ষা বেশী জনপ্রিয় আলোকবহ্ন। যন্ত্রটির কার্যনীতি অত্যন্ত সরল। নিম্নে ইহার বিভিন্ন অংশের বর্ণনা দেওয়া হইল।

(i) আলো-নিরুদ্ধ প্রকোষ্ঠ : ইহাকে ক্যামেরার কাঠামো বলা যায়। ইহা এমনভাবে গঠিত থাকে যে, ইহার মধ্যে সম্মুখস্থ লেন্সের মধ্য দিয়া ছাড়া অন্য কোন পথে আলো আসিতে পারে না। ইহার ভিতরে কালো রঙ করা থাকে। অনেক ক্যামেরায় ইহার পিছনের দেওয়াল তাঁজ করা চামড়ার তৈয়ারী। ফলে ইহার সম্মুখ ও পশ্চাদ্ভাগের দূরত্ব পরিবর্তন করিতে কোন অসুবিধা হয় না।

(ii) অবজেক্টিভ বা ক্যামেরা লেন্স : ইহা আলো-নিরুদ্ধ প্রকোষ্ঠের সামনে



চিত্র 8.1

D-ডায়ারাম, S-শাটল, R-রোল ও

পিনিয়ন ব্যবস্থা

করা হয়। সাধারণত একটি সেন্সিভাইজার পাতের উপর সিলিন্ডার

একটি কাঠামোর উপর বসান থাকে। ইহা সাধারণত বিভিন্ন অপেরেশন-সুত্রে একটি অভিসারী লেন্স-সমষ্টি। দামী ক্যামেরায় একাধিক লেন্স ব্যবহৃত হয়। ইহার কাজ সম্মুখস্থ লক্ষ্যবস্তুর স্খ প্রতিবিম্ব গঠন করা। এই প্রতিবিম্ব অবশীর্ষ এক সাধারণত বস্তু হইতে স্খতর হয়।

(iii) ফটোগ্রাফিক প্লেট : ক্যামেরা লেন্সের ঠিক পিছনে আলো-নিরুদ্ধ প্রকোষ্ঠে আলোকচিত্রগ্রাহী আলোক-সুবেদী (photo-sensitive) ফিল্ম বা প্লেট স্থাপন

হ্যালাইড-এর একটি আন্তরণ দিয়া তৈয়ারী করা হয়। ক্যামেরা লেন্স ইহার উপরই প্রতিবিম্ব গঠন করে। ফটোগ্রাফিক ফিল্মের উপর আলো পড়িলে (উহার উপর কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে) উহার বিভিন্ন অংশের দীপনমাত্রা (illumination) অনুসারে সিলভার হ্যালাইড লবণ যাতব সিলভারে (বৃণা) বিজারিত হইবার যোগ্যতা লাভ করে। ফলে আলোক-সম্পাত্ত (exposed) ফিল্মকে উপযুক্ত ডেভেলপার (developer) দ্রবণে ডুবাইলে প্রতিবিম্বের বিভিন্ন অংশের দীপনমাত্রা অনুযায়ী ফিল্মের বিভিন্ন স্থানে কালো সিলভার কণার আন্তরণ সৃষ্টি হয়। ইহাকে নেগেটিভ (negative) বলে। এই নেগেটিভ হইতেই লক্ষ্যবস্তুর আলোক-চিত্র তোলা যায়।

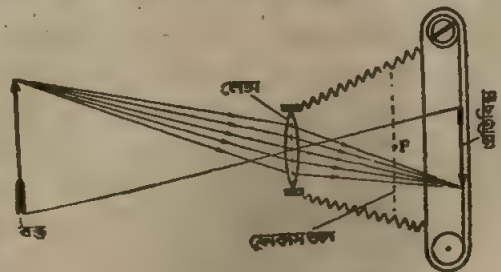
(iv) ডায়াফ্রাম (Diaphragm) : ইহার সাহায্যে ক্যামেরা লেন্সের উন্মেষ (aperture) কমান বা বাড়ান যায়। ইহা সাময়িকত অবলোকিত লেন্সগুলির মাঝখানে বা পিছনে থাকে। আলো কম থাকিলে, অর্থাৎ লক্ষ্যবস্তুর স্বল্পালোকিত হইলে ডায়াফ্রাম বন্ধ করিয়া ক্যামেরার আগত আলোর পরিমাণ বাড়ান যায়।

(v) পর্দা বা স্ক্রীন : ইহা একটি কাচের পর্দা। ইহা ক্যামেরার লেন্সের পিছনে বসান থাকে। লেন্সটি আগাইয়া বা পিছাইয়া এই পর্দার উপরে লক্ষ্যবস্তুর একটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠন করা হয়। ইহার পর পর্দাটি সরাইয়া একই স্থানে ফটোগ্রাফিক ফিল্ম বা প্লেট বসাইয়া ছবি তোলা হয়। সকল ক্যামেরায় এইরূপ পর্দা থাকে না। গ্রন্থপ ফটো তুলিবার জন্য যে-সব বড় আকারের ক্যামেরা ব্যবহৃত হয় তাহাতে সাধারণত এইরূপ পর্দা থাকে।

(vi) সাটার (Shutter) : ক্যামেরার মধ্যে একটি কপাট বা সাটার থাকে। উহা প্রয়োজনীয় সময় ভিন্ন অন্য কোন সময়ে ক্যামেরা-লেন্স হইতে ফিল্মের উপর আলো আসিতে বাধা দেয়। সাটারটিকে যান্ত্রিক উপায়ে কপিঁকের জন্য ঝুলিয়া বন্ধ করিয়া দেওয়া যায়। সাটার বন্ধকণ খোলা থাকে তাহাকে ফিল্মের উপর আলোকসম্পাত্তের কাল (exposure time) বলা হয়। এই সময় সাময়িকত এক সেকেন্ডের ক্ষুদ্র ভগ্নাংশের সমান হয়।

(vii) ব্ল্যাক ও পিনিয়ন ব্যবস্থা : ইহার সাহায্যে ক্যামেরা-লেন্স এবং পর্দার (বা ফিল্মের) দূরত্ব পরিবর্তন করিয়া লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্বকে পর্দায় ফেলা হয়। অবশ্য সকল ক্যামেরার ফোকাসিং ব্যবস্থা এইরূপ নয়।

ক্যামেরার ক্রিয়া (Action of camera) : ছবি তুলিবার সময় প্রথমে ক্যামেরা লেন্সটিকে সামনে বা পিছনে সরাইয়া যথা কাচের পর্দার উপর লক্ষ্যবস্তুর একটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠন করা হয় (চিত্র 8.2)। ইহাকে চলিত কথায় 'ফোকাসিং করা' বলে। লক্ষ্য-বস্তুর দূরে থাকিলে এই প্রতিবিম্ব প্রকৃতপক্ষে লেন্সের ফোকাসতলে গঠিত হয়। নিকটবর্তী কোন বস্তুর আলোক-চিত্র লইতে গেলে লেন্স হইতে পর্দার দূরত্ব বাড়াইতে হয়। ইহার পর পর্দাকে সরাইয়া



চিত্র 8.2

লইয়া সেই স্থানে ফটোগ্রাফিক ফিল্ম বসান হয়। সাটারটি বন্ধ থাকিলে ফিল্মে আলো

পড়ে না। সার্টারটি নির্দিষ্ট সময়ের জন্য খুলিলে ফিল্মের উপর আলো পড়ায় আলোক-সুবেদী ফিল্মের আলোক-রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটে। উপযুক্ত ডেভেলপার দ্রবণে ডুবাইয়া এই ফিল্ম হইতে ছবির 'নেগেটিভ' তৈয়ারী হয়।

### 8.3 দৃষ্টিসহায়ক যন্ত্র (Optical aids to vision)

লক্ষ্যবস্তু আকৃতিতে খুব ছোট হইলে বা উহা বহুদূরে থাকিলে উহার গঠনের খুঁটি-নাটি খালি চোখে দেখা যায় না। এরূপ ক্ষেত্রে যন্ত্রের সাহায্য লইয়া বস্তুটিকে স্পষ্টভাবে দেখা যায়। বিবর্ধক কাচ, অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র, বাইনোকুলার ইত্যাদি এইরূপ দৃষ্টিসহায়ক যন্ত্র। ইহাদের সাহায্যে কোন বস্তুর যে-প্রতিবিম্ব (অসদ্) গঠিত হয় তাহা দর্শকের চোখে বস্তু অপেক্ষা বড় কোণ (visual angle) উৎপন্ন করে। এইরূপ যন্ত্র ব্যবহার করিলে চোখের রেটিনায় বস্তুর যে-প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা আকারে বড় হওয়ার বস্তুটিকেও বড় বলিয়া মনে হয়। তখন বস্তুটির গঠনের খুঁটিনাটি দেখা যায়।

**কৌণিক বিবর্ধন :** দৃষ্টিসহায়ক যন্ত্র ব্যবহার করিয়া যে-বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পাওয়া যায় তাহার বিবর্ধন বস্তুটির রৈখিক আকৃতি দ্বারা নির্ধারিত হয় না। প্রতিবিম্বটি চোখে যে-কোণ উৎপন্ন করে বস্তুর আপাত-আকৃতি তাহার উপর নির্ভর করে বলিয়া এইসব যন্ত্রের বিবর্ধন সাধারণত চোখে প্রতিবিম্বের দ্বারা ও বস্তুর দ্বারা উৎপন্ন কোণের অনুপাত রূপে প্রকাশ করা হয়। ইহাকে বলা হয় যন্ত্রের কৌণিক বিবর্ধন (angular magnification)। সংজ্ঞানুসারে,

$$\text{কৌণিক বিবর্ধক} = \frac{\text{প্রতিবিম্ব-কর্তৃক চোখে উৎপন্ন কোণ}}{\text{বস্তু-কর্তৃক চোখে উৎপন্ন কোণ}}$$

### 8.4 বিবর্ধক লেন্স (Magnifying glass or simple microscope)

চোখের রেটিনার উপর কোন ক্ষুদ্র বস্তুর যে-প্রতিবিম্ব গঠিত হয়, একটিমাত্র অভিসারী লেন্সের সাহায্যে তাহার আকার (size) বাড়ান যায়। এই উদ্দেশ্যে যে-লেন্স ব্যবহৃত হয় তাহাকে বিবর্ধক কাচ বা আতল কাচ বলে। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যনীতিও মূলত ইহার কার্যনীতির অনুরূপ বলিয়া ইহাকে সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলা হয়। ইহার কার্য-প্রণালী বিচার করিবার সময় মনে রাখিতে হইবে যে, কোন ক্ষুদ্র বস্তুকে ভালভাবে দেখিতে হইলে উহাকে স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্বে (least distance of vision) রাখা হয়। এই অবস্থানে রাখিলে বস্তু চোখে যে-কোণ উৎপন্ন করে তাহাই বস্তুর কৌণিক আকার। বস্তুটিকে চোখের আরও কাছে আনিলে উহার কৌণিক আকার আরও বড় হয় বটে, কিন্তু এরূপ অবস্থায় চোখ বস্তুকে স্পষ্ট দেখিতে পায় না। বিবর্ধক লেন্সের সাহায্য লইলে বস্তুটিকে আরও কাছে আনিয়াও স্পষ্ট দেখা যায়। বিবর্ধক লেন্স ব্যবহার করিলে বস্তুটিকে সাধারণত লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব অপেক্ষাও নিকটে রাখা হয়। স্পষ্টতই, এরূপ ক্ষেত্রে লেন্স-কর্তৃক গঠিত বস্তুর প্রতিবিম্বটি অসদ্ হইবে। বস্তুটিকে এমন অবস্থানে রাখা হয় যাহাতে প্রতিবিম্বটি চোখের স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে (25 cm) গঠিত হয়।

**কার্যনীতি :** মনে করি,  $h$ -উচ্চতা-বিশিষ্ট বস্তু PQ-কে এমন দূরত্বে রাখা হইয়াছে যে, উহার অসদ্ প্রতিবিম্ব P'Q' চোখ হইতে স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব  $d$ -তে গঠিত হইয়াছে (চিত্র 8.3)। চোখ লেন্সের ঠিক পিছনে থাকিলে এবং লেন্সের যেখ

উপেক্ষণীয় হইলে অসদ্ প্রতিবিম্ব  $P'Q'$  দর্শকের চোখে যে-কোণ (visual angle) উৎপন্ন করে তাহার মান

$$\beta = \frac{P'Q'}{d} = \frac{PQ}{u} = \frac{h}{u} \dots (i)$$

বস্তু টিকে খালি চোখে স্পষ্ট ভাবে দেখিতে হইলে উহাকে চোখে হইতে  $d$ -দূরত্বে রাখিতে হইত। ঐ অবস্থায়

বস্তুটি চোখে যে-কোণ উৎপন্ন করিত তাহার মান

$$\alpha = \frac{PQ}{d} = \frac{h}{d} \dots (ii)$$

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ তুলনা করিয়া দেখা যাইতেছে যে, বিবর্ধক কাচ ব্যবহার করিয়া যে-কৌণিক বিবর্ধন পাওয়া যায় তাহার মান

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{h}{u} \bigg/ \frac{h}{d} = \frac{d}{u} \dots (iii)$$

চিত্র হইতে দেখা যাইতেছে যে,  $u$  = লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব

$d$  = লেন্স হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব

ধরি, লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব =  $f$

$$\text{সুতরাং } \frac{1}{d} - \frac{1}{u} = \frac{1}{-f} \quad \text{বা, } 1 - \frac{d}{u} = -\frac{d}{f}$$

$$\text{বা, } \frac{d}{u} = 1 + \frac{d}{f} \dots (iv)$$

সুতরাং, (iii) ও (iv) নং সমীকরণ তুলনা করিয়া বলা যায় যে, এক্ষেত্রে কৌণিক বিবর্ধন,

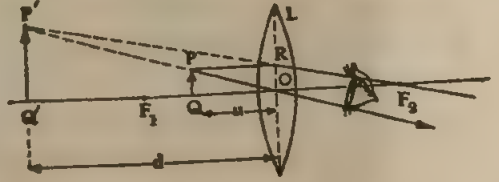
$$m = \frac{d}{u} = 1 + \frac{d}{f} \dots (8.1)$$

দেখা যাইতেছে যে, লেন্সের ফোকাস দূরত্ব  $f$  কম হইলে  $m$ -এর মান বাড়ে। আরও একটি বিষয় এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন। বাঁহাদের চোখের নিকটবিন্দু (near point) স্বাভাবিক হইতে দূরে সরিয়া গিয়াছে (অর্থাৎ, বাঁহাদের ক্ষেত্রে  $d$ -এর মান বেশি) তাঁহারা এইরূপ কাচ ব্যবহার করিয়া বেশি সুবিধা পান।

### 8.5 অণুবীক্ষণ যন্ত্র (Compound microscope)

বিবর্ধক কাচের সাহায্যে বস্তুর আকারের যে-বিবর্ধন পাওয়া যায় অতি ক্ষুদ্র বস্তু দেখিবার জন্য সেই বিবর্ধন যথেষ্ট নয়। এইরূপ ক্ষেত্রে অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রের প্রধান অংশগুলি নিচে বর্ণনা করা হইল :

(i) অবজেক্টিভ বা অভিলক্ষ্য (Objective) : ইহা কয়েকটি লেন্সের সমন্বয়। এই সমন্বয় গঠনে বিভিন্ন অপেরণ (aberration) দূর করিবার দিকে লক্ষ্য রাখা হয়।



চিত্র 8.3

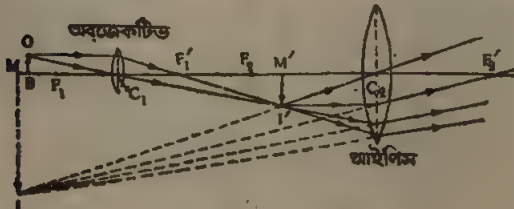


বাস্তবক্ষেত্রে যদিও অব্জেকটিভ কয়েকটি লেন্সের সমন্বয়ে গঠিত, আমরা আলোচনার সুবিধার জন্য ইহাকে একটি অভিসারী লেন্সরূপে কল্পনা করিব। ঐরূপ কল্পনা অধৌক্তিক নয়, কেননা অব্জেকটিভে লেন্সগুলি সম্মিলিতভাবে একটি স্বল্প ফোকাস-দূরত্ব-বিশিষ্ট অভিসারী লেন্সের ন্যায় ক্রিয়া করে। লক্ষ্যবস্তুটি অব্জেকটিভের প্রথম ফোকাস হইতে সামান্য দূরে থাকে। সুতরাং, অব্জেকটিভের সাহায্যে বস্তুর যে-প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা সদ্ (real), বিবর্ধিত এবং অবশীর্ণ (inverted)।

(ii) আই-পিস বা আউটপিস (Bye-piece) : ইহা সাধারণত দুইটি লেন্সের তৈয়ারী। উহারা উভয়ে মিলিয়া স্বল্প ফোকাস-বৃত্তের অভিসারী লেন্সরূপে ক্রিয়া করে। বিবর্ধক কাচের সাহায্যে যেমন কোন বস্তুর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হয়, আই-পিসের সাহায্যে তেমন অব্জেকটিভ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বকে আরো বিবর্ধিত করিয়া দেখা যায়। আই-পিসের দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বটি অসদ্, বিবর্ধিত ও সমশীর্ণ। সুতরাং অন্তিম প্রতিবিম্ব বস্তুর সাপেক্ষে অবশীর্ণ হয়।

উপরি-উক্ত দুইটি লেন্স-সমন্বয় (অব্জেকটিভ এবং আই-পিস) একটি ফাঁপা ধাতব নলের দুইপ্রান্তে সমাক্ষ (coaxial) অবস্থায় আবদ্ধ থাকে। ইহাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়।

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্য দিয়া আলোক-রশ্মির পথনির্দেশ : অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্য দিয়া আলোক-রশ্মির গমন-পথ নির্দেশ করিবার সময় আমরা ধরিয়া লইব অব্জেকটিভ এবং আই-পিস উভয়েই এক একটি স্বল্প ফোকাস-দূরত্বের অভিসারী লেন্স (প্রকৃতপক্ষে



চিত্র ৪.৪

পিস-এর আলোক-কেন্দ্র (চিত্র ৪.৪)।  $F_1$  এবং  $F_1'$  যথাক্রমে অব্জেকটিভের প্রথম ও দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস;  $F_2$  এবং  $F_2'$  যথাক্রমে আই-পিসের প্রথম ও দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস; অব্জেকটিভ ও আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব যথাক্রমে  $f_1$  এবং  $f_2$ ।  $C_1C_2$ -রেখা লেন্স দুইটির সাধারণ অক্ষ। লক্ষ্যবস্তু OB অব্জেকটিভ-এর প্রথম ফোকাস  $F_1$  হইতে সামান্য দূরে রহিয়াছে।

O-বিন্দু হইতে নিগত যে-আলোক-রশ্মিটি  $C_1$ -এর মধ্য দিয়া যায় তাহা বিচ্যুতি না হইয়া সোজা  $OC_1$ -সরলরেখা ধরিয়া অগ্রসর হয়। O-বিন্দু হইতে নিগত যে-রশ্মি  $C_1C_2$  অক্ষের সহিত সমান্তরালভাবে অব্জেকটিভের উপর আপতিত হয় তাহা লেন্স-কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া  $F_1'$ -বিন্দুর মধ্য দিয়া অগ্রসর হইবে। এই দুইটি রশ্মি পরস্পর  $I'$  বিন্দুতে মিলিত হয়। সুতরাং,  $I'$ -বিন্দুতে  $L_1$ -লেন্স-কর্তৃক O-বিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।  $I'$ -বিন্দু হইতে  $C_1C_2$ -অক্ষে আঁকিত  $I'M'$  লম্বই অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব।

উহারা উভয়েই একাধিক লেন্সের সমন্বয়ে গঠিত)। চিত্রাঙ্কনের সময় আমরা উহাদের কণ (thin) লেন্স বলিয়া ধরিব। ধরি  $C_1$  এবং  $C_2$  বিন্দুদ্বয় যথাক্রমে অব্জেকটিভ এবং আই-

I'M' প্রতিবিম্বটি আই-পিসের সাপেক্ষে বস্তুর ন্যায় ক্রিয়া করিবে। I' হইতে যে-রশ্মি  $C_2$ -বিন্দুর মধ্য দিয়া যাইবে তাহার কোন দিক-পরিবর্তন হইবে না। আবার I'-বিন্দু হইতে  $C_1C_2$ -অক্ষের সাহিত সমান্তরালভাবে যে-আলোক-রশ্মি আই-পিসের উপর আপতিত হয় তাহা প্রতিসৃত হইয়া F'-এর মধ্য দিয়া যায়। এই দুই রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে উহারা I-বিন্দুকে ছেদ করে। সুতরাং, I-বিন্দুটি I'-বিন্দুর প্রতিবিম্ব। I'-বিন্দু হইতে অপসারী সকল রশ্মিই I-বিন্দু হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। I-বিন্দু হইতে অক্ষের উপর IM-লম্ব টানিলে উহাই হইবে সম্পূর্ণ অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে OB বস্তুর প্রতিবিম্ব।

অণুবীক্ষণে বিবর্ধন (Magnification produced by a compound microscope): অণুবীক্ষণে দুইটি পর্যায়ে বিবর্ধন হয়।

(i) অব্জেকটিভ-কর্তৃক বিবর্ধন ( $m_o$ ) এবং (ii) আই-পিস-কর্তৃক বিবর্ধন ( $m_e$ )। যন্ত্রের মোট বিবর্ধন ( $m$ ) এই দুই বিবর্ধনের গুণফলের সমান।

চোখে IM প্রতিবিম্ব-কর্তৃক উৎপন্ন কোণ ( $\beta$ )

$$m = \frac{\text{স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে রাখিলে চোখে বস্তু-কর্তৃক উৎপন্ন কোণ} (\alpha)}{\text{দর্শকের চোখ } C_2\text{-বিন্দুতে আছে ধরিলে}}$$

$$\tan \beta = \beta = \angle IC_2M = \angle I'C_2M' = \frac{I'M'}{M'C_2}$$

স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বকে  $d$  ধরিলে

$$\alpha = \frac{OB}{d} \quad \dots \quad (v)$$

সুতরাং, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন,

$$m = \frac{I'M'}{M'C_2} \cdot \frac{OB}{d} = \left( \frac{I'M'}{OB} \times \frac{d}{M'C_2} \right) = m_o \times m_e \quad \dots \quad (vi)$$

$$\text{এখন, } m_o = \frac{I'M'}{OB} = \frac{C_1M'}{C_1B} = \frac{v}{u} \text{ (ধরি) } \quad \dots \quad (vii)$$

আই-পিসটি একটি বিবর্ধক কাচের ন্যায় ক্রিয়া করিতেছে বলিয়া ইহার বিবর্ধন

$$m_e = 1 + \frac{d}{f_2} \quad [ \text{সমীকরণ (8.1) হইতে} ]$$

সুতরাং, অণুবীক্ষণে বিবর্ধন,  $m = m_o m_e$

$$= \frac{v}{u} \left( 1 + \frac{d}{f_2} \right) \quad \dots \quad (viii)$$

অব্জেকটিভের ক্ষেত্রে লেন্সের সমীকরণ প্রয়োগ করিয়া লেখা যায়-

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} \quad \text{বা, } \frac{v}{u} = \left( \frac{v}{f_1} - 1 \right) \quad \dots \quad (ix)$$

সুতরাং, সমীকরণ (viii) এবং (ix) হইতে লেখা যায়,

$$\text{অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বিবর্ধন, } m = \left( \frac{v}{f_1} - 1 \right) \left( 1 + \frac{d}{f_2} \right) \quad \dots \quad (8.2)$$

বাস্তব ক্ষেত্রে I'M' প্রতিবিম্বটি আই-পিসের খুব কাছাকাছি গঠিত হয় বলিয়া লেখা যায়,  $v \cong l$ , বীক্ষণ চোঙের দৈর্ঘ্য (optical tube length)

$$\therefore m = \left( \frac{l}{f_1} - 1 \right) \left( 1 + \frac{d}{f_2} \right) \quad \dots (8.3)$$

$$\frac{l}{f_1} \gg 1 \text{ বলিয়া লেখা যায়, } m = \frac{l}{f_1} \left( 1 + \frac{d}{f_2} \right) \quad \dots (8.4)$$

আবার,  $d$  অপেক্ষা  $f_2$  অনেক ছোট হইলে  $\frac{d}{f_2} \gg 1$  হইবে। এইরূপ ক্ষেত্রে

$$m = \frac{ld}{f_1 f_2} \quad \dots (8.5)$$

সুতরাং, দেখা যাইতেছে যে, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন  $m$  বাড়াইতে হইলে  $f_1$  এবং  $f_2$  যথাসম্ভব ছোট করা প্রয়োজন।

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

**উদাহরণ ৪.১** একটি বিবর্ধক লেন্সকে চোখের খুব নিকটে ধরিলে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ১২ গুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। বিবর্ধক লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব কত?

**সমাধান :** এখানে,  $m = 12$

স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব,  $d = 25 \text{ cm}$

সমীকরণ (৪.১) হইতে লেখা যায়,  $m = 1 + \frac{d}{f} = 12$  বা,  $1 + \frac{25}{f} = 12$

$$\text{বা, } f = \frac{25}{11} = 2\frac{2}{11} \text{ cm}$$

**উদাহরণ ৪.২** অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব যথাক্রমে  $1.5 \text{ cm}$  এবং  $9 \text{ cm}$ । যদি লক্ষ্যবস্তু অব্জেকটিভ হইতে  $2 \text{ cm}$  দূরে অবস্থিত হয় এবং অন্তিম প্রতিবিম্ব আই-পিস হইতে  $25 \text{ cm}$  দূরে গঠিত হয় তাহা হইলে লেন্সদ্বয়ের দূরত্ব কত হইবে? অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন-ক্ষমতা কত?

**সমাধান :** অব্জেকটিভের ক্ষেত্রে, বস্তু-দূরত্ব,  $u = 2 \text{ cm}$

প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $= v$  (ধরি), অব্জেকটিভের ফোকাস-দূরত্ব,  $f_1 = -1.5 \text{ cm}$

$$\text{কাজেই, } \frac{1}{v} - \frac{1}{-2} = \frac{1}{-1.5}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{v} = \frac{1}{2} - \frac{1}{1.5} = -\frac{1}{6} \text{ cm}$$

$$\text{বা, } v = -6 \text{ cm}$$

অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব আই-পিসের নিকট বস্তুর ন্যায় ক্রিয়া করে। প্রশ্নের শর্তানুসারে, আই-পিস-কর্তৃক প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব  $v = 25 \text{ cm}$ ; এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব অসদ্বলিয়া প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ধনাত্মক।

$$\therefore \frac{1}{25} - \frac{1}{-6} = \frac{1}{f_2} \quad [\because \text{আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব, } f_2 = -9 \text{ cm}]$$

$$\therefore \frac{1}{U} = \frac{1}{25} + \frac{1}{9} \quad \text{বা,} \quad U = \frac{225}{34} = 6.73 \text{ cm}$$

কাজেই, অবজেকটিভ এবং আই-পিসের মধ্যবর্তী দূরত্ব

$$l = v + U = 6 + 6.73 = 12.73 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{সমীকরণ (8.2) হইতে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বিবর্ধন} &= \left( \frac{v}{f_1} - 1 \right) \left( 1 + \frac{d}{f_2} \right) \\ &= \left( \frac{6}{1.5} - 1 \right) \left( 1 + \frac{25}{9} \right) = 11.33 \end{aligned}$$

**উদাহরণ 8.3** একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের দুইটি লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব 0.5 cm এবং 2 cm এবং ইহাদের দূরত্ব 16 cm। যদি অন্তিম প্রতিবিম্বটি স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হয় তাহা হইলে অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধনের মান কত হইবে?

**সমাধান :** এখানে,  $f_1 = 0.5 \text{ cm}$ ,  $f_2 = 2 \text{ cm}$ ,  $l = 16 \text{ cm}$

আই-পিস হইতে বস্তু-দূরত্ব (অর্থাৎ, অবজেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের দূরত্ব)  $u$  হইলে লেখা যায়,

$$\begin{aligned} \frac{1}{25} - \frac{1}{u} &= -\frac{1}{2} \\ \text{বা,} \quad \frac{1}{u} &= \frac{1}{25} + \frac{1}{2} = \frac{2+25}{50} = \frac{27}{50} \\ \therefore u &= \frac{50}{27} = 1.85 \text{ cm} \end{aligned}$$

কাজেই, অবজেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব অবজেকটিভ হইতে  $v \text{ cm}$  দূরে অবস্থিত হইলে লেখা যায়,

$$v = l - u = 16 - 1.85 = 14.15 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{কাজেই, অণুবীক্ষণের বিবর্ধন} &= \left( \frac{v}{f_1} - 1 \right) \left( 1 + \frac{d}{f_2} \right) \\ &= \left( \frac{14.15}{0.5} - 1 \right) \left( 1 + \frac{25}{2} \right) = 27.3 \times 13.5 = 368.6 \end{aligned}$$

**উদাহরণ 8.4** কোন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অবজেকটিভ এবং আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm এবং 4 cm এবং ইহাদের দূরত্ব 14.5 cm। অবজেকটিভ হইতে 1.1 cm দূরে 0.5 mm উচ্চতা-বিশিষ্ট বস্তু রাখিলে উহার অন্তিম প্রতিবিম্বের অবস্থান ও আকার নির্ণয় কর।

**সমাধান :** অবজেকটিভের ফোকাস-দূরত্ব,  $f_1 = -1 \text{ cm}$  এবং বস্তু-দূরত্ব  $= 1.1 \text{ cm}$

$$\text{আমরা জানি,} \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{1.1} = -\frac{1}{1}$$

$$\text{বা,} \quad v = -11 \text{ cm}$$

অবজেকটিভ ও আই-পিসের দূরত্ব 14.5 cm বলিয়া অবজেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব আই-পিস হইতে (14.5 - 11) বা 3.5 cm দূরে অবস্থিত হইবে। মনে করি, আই-পিস হইতে চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের দূরত্ব  $= v' \text{ cm}$

$$\frac{1}{v'} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_2}, \quad f_2 = \text{আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{1}{v'} - \frac{1}{3.5} = \frac{1}{-4} \quad \text{বা,} \quad v' = 28$$



সূত্রাং, আই-পিস হইতে অন্তিম প্রতিবিম্বের দূরত্ব = 28 cm

অব্জেকটিভ-কর্তৃক প্রতিবিম্বের বিবর্ধন,  $m_o = \frac{v}{u} = \frac{11}{1.1} = 10$

এবং আই-পিস-কর্তৃক প্রতিবিম্বের বিবর্ধন,  $m_e = \frac{v'}{u'} = \frac{28}{3.5} = 8$

∴ মোট বিবর্ধন =  $m_o \times m_e = 10 \times 8 = 80$

সূত্রাং, অন্তিম প্রতিবিম্বের উচ্চতা = মোট বিবর্ধন  $\times$  বস্তুর উচ্চতা  
 $= 80 \times 0.5 \text{ mm} = 4 \text{ cm}$

## 8.6 দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Telescope)

বহু দূরের বস্তুকে দেখিবার জন্য টেলিস্কোপ বা দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। গ্রহ-নক্ষত্রাদি সম্বন্ধীয় গবেষণার জন্য জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের কাছে এই যন্ত্র অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। খালি চোখে আমরা আকাশে যত তারা দেখি, দূরবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্য দিয়া তাকাইলে তাহা অপেক্ষা অনেক বেশি তারা দেখা যায়। এইরূপ হইবার কারণ কী? বহুদূরে অবস্থিত লক্ষ্যবস্তু হইতে যে-পরিমাণ আলো আসিয়া রেটিনায় প্রতিবিম্ব গঠন করে তাহার পরিমাণ কম হইলে আমাদের দর্শনানুভূতি জাগে না। এইজন্য অতি দূরের নক্ষত্রকে খালি চোখে দেখা যায় না। দূরবীক্ষণ যন্ত্র অধিক আলো আহরণ করিতে পারে বলিয়া রেটিনায় গঠিত প্রতিবিম্বের শুদ্ধতা বাড়িয়া যায়। ইহা ছাড়া, দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে বস্তুর কৌণিক বিবর্ধন ঘটে বলিয়া বস্তুকে বড় মনে হয়।

এই যন্ত্রের প্রধান অংশ দুইটি—(i) অব্জেকটিভ এবং (ii) আই-পিস। নানা প্রকারের দূরবীক্ষণ যন্ত্র রহিয়াছে। আমরা এখানে শুধু (i) নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র বা অ্যাস্ট্রোনমিক্যাল টেলিস্কোপ, (ii) গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র এবং (iii) ভূ-বীক্ষণ যন্ত্র সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করিব।

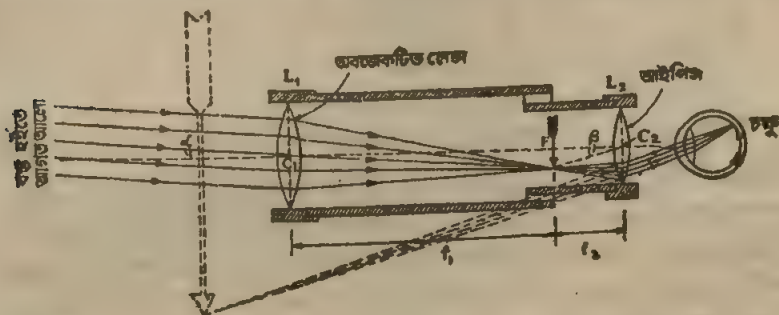
(i) নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র (Astronomical telescope) : ইহার অব্জেকটিভ সাধারণত দুইটি লেন্সের সমন্বয়ে তৈয়ারী। উভয়ে মিলিয়া একটি অভিসারী লেন্সের ন্যায় ক্রিয়া করে। আই-পিসটিও সাধারণত দুইখানা লেন্সের দ্বারা গঠিত। আলোচনার সুবিধার জন্য ইহাকেও আমরা একটি অভিসারী লেন্স বলিয়া ধরিয়া লইতে পারি।

অব্জেকটিভ এবং আই-পিস একটি ফাঁপা নলের দুইপ্রান্তে সমান অবস্থান থাকে। উহাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। দূরের বস্তু দেখিবার সময় সাধারণত অব্জেকটিভের দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস এবং আই-পিসের প্রথম মুখ্য ফোকাস সমাপতিত (coincident) অবস্থান থাকে। ফলে, অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের মধ্যবর্তী দূরত্ব উহাদের ফোকাস-দূরত্বের যোগফলের সমান।

ক্যামেরা লেন্সের ন্যায় টেলিস্কোপের অব্জেকটিভ বস্তুর অবশীর্ষ সর্দবিম্ব গঠন করে; এই প্রতিবিম্বের আকার বস্তু অপেক্ষা ছোট হয়। আই-পিস একটি বিবর্ধক কাচের ন্যায় ক্রিয়া করিয়া বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে।

নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্য দিয়া রশ্মির গমনপথ (Path of the rays through an astronomical telescope) : 8.5 নং চিত্রে  $L_1$  এবং  $L_2$  যথাক্রমে

অব্জেকটিভ এবং আই-পিস।  $C_1$  এবং  $C_2$  ইহাদের আলোক-কেন্দ্র।  $F$ -বিন্দু  $L_1$ -এর দ্বিতীয় মুখ ফোকাস।  $C_1C_2$  সরলরেখাটি যন্ত্রের অক্ষ। অক্ষের অভিলম্বে অবস্থিত দূরবর্তী কোন বস্তুর কোন বিন্দু হইতে আলো আসিয়া  $L$  লেন্সের উপর সমান্তরালভাবে আপতিত হইবে। চিত্রে ঐ বস্তুর প্রান্তস্থ বিন্দু হইতে আগত আলোক-রশ্মিগুলি দেখান হইয়াছে। এই রশ্মিগুলির মধ্য যে-রশ্মিটি  $C_1$ -এর মধ্য দিয়া বাইতেছে তাহা বিচ্যুত না হইয়া সোজা অগ্রসর হয়। ধরি, এই রশ্মিটি  $L_1$ -এর দ্বিতীয় ফোকাস-তলকে  $I$  বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে। তাহা হইলে আপতিত সমান্তরাল রশ্মিগুলি



চিত্র 8.5

$L_1$  লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া  $I$  বিন্দুতে মিলিত হইবে।  $I$ -বিন্দু হইতে অক্ষের উপর আঁকিত লম্ব  $IF$ -অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব। স্পষ্টতই ইহা সদ্, অবশীর্ষ এবং বস্তু অপেক্ষা আকারে ক্ষুদ্রতর। আই-পিস  $L_2$ -তে আপতিত হইয়া যে-সকল রশ্মি অন্তিম প্রতিবিম্ব গঠন করে তাহারা  $IF$  প্রতিবিম্ব হইতে আসে। অর্থাৎ,  $L_2$ -লেন্সের সাপেক্ষে  $IF$  বস্তুর ন্যায় ক্রিয়া করে।

অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব  $IF$  লেন্স ( $L_2$ )-এর ফোকাস-তলে অবস্থিত হইলে  $L_2$ -কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে অবস্থিত হইবে। সুতরাং,  $IF$  প্রতিবিম্বের যে-কোন বিন্দু হইতে অপসারী আলোকগুচ্ছ  $L_2$ -কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া সমান্তরাল হইবে। লেন্স  $L_2$  দিয়া প্রতিসরণের পর আলোক-রশ্মিগুলি কীবৃপভাবে নিগত হইবে তাহা বুঝিবার জন্য  $IC_2$  বোঝা কর।  $C_2$ -বিন্দু দিয়া যে-রশ্মি অগ্রসর হয় তাহা প্রতিসরণের ফলে বিচ্যুত না হইয়া সোজা যায়।  $I$ -বিন্দুর প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হইবে বলিয়া  $I$  বিন্দু হইতে অপসৃত হইয়া যে-সকল রশ্মি লেন্স  $L_2$ -তে পড়ে, প্রতিসৃত হইবার পর উহারা সকলেই  $IC_2$ -রেখার সমান্তরালভাবে নিগত হইবে। আই-পিসের পিছনে চোখ রাখিয়া অসীম দূরত্বে গঠিত ঐ প্রতিবিম্ব দেখা যায়। এই প্রতিবিম্বটি বস্তুর সাপেক্ষে অবশীর্ষ।  $L_2$ -কে  $L_1$ -এর দিকে আগাইয়া দিলে অন্তিম প্রতিবিম্বটি দর্শকের আরও কাছে আসিবে। এইরূপে দর্শক নিজের দূরবিন্দু হইতে নিকট-বিন্দু পর্যন্ত যে-কোন অবস্থানে অন্তিম প্রতিবিম্বটি গঠন করিতে পারেন। 8.5 নং চিত্রে অন্তিম প্রতিবিম্বটিকে সসীম দূরত্বে দেখান হইয়াছে।

নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন :

(i) অন্তিম প্রতিবিম্ব যখন অসীম দূরত্বে গঠিত হয়—দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

বিবর্ধন,  $m = \frac{\text{অন্তিম প্রতিবিম্ব-কর্তৃক চোখে উৎপন্ন কোণ}}{\text{লক্ষ্যবস্তু-কর্তৃক চোখে উৎপন্ন কোণ}}$

$$= \frac{\beta}{\alpha} \text{ চিত্র 8.5 দ্রষ্টব্য } = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} (\alpha \text{ এবং } \beta \text{ ক্ষুদ্র ধরিয়া) } \dots (i)$$

$$\text{প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে হইলে, } \tan \beta = \frac{IF}{FC_2} \dots (ii)$$

$$\text{আবার, } \tan \alpha = \frac{IF}{FC_1} \dots (iii)$$

$$\therefore m = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} = \frac{IF/FC_2}{IF/FC_1} = \frac{FC_1}{FC_2} = \frac{f_1}{f_2} \dots (8.6)$$

সমীকরণ (8.6) হইতে বুঝা যাইতেছে যে, বিবর্ধন বাড়াইতে হইলে অব্জেকটিভের ফোকাস-দূরত্ব  $f_1$ -এর মান বাড়াইতে হইবে এবং আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব  $f_2$ -এর মান কমাইতে হইবে। কাজেই, অধিক বিবর্ধন-ক্ষমতাসম্পন্ন নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অব্জেকটিভের ফোকাস-দূরত্ব বেশি হইবে। সুতরাং, বীক্ষণ চোঙের দৈর্ঘ্য (tube length)  $(f_1 + f_2)$ -ও বেশি হইবে।

(ii) অন্তিম প্রতিবিম্ব যখন আই-পিস হইতে  $d$  দূরত্বে গঠিত হয়—

যদি অন্তিম প্রতিবিম্ব আই-পিস হইতে  $d$  দূরত্বে গঠিত হয় তাহা হইলে নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের মান নিম্নরূপে পাওয়া যায়।

$$8.5 \text{ নং চিত্রানুসারে, } \alpha = \frac{IF}{C_1 F} = \frac{IF}{f_2} \dots (iv)$$

মনে করি, অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বটি আই-পিস হইতে  $u$  দূরত্বে অবস্থিত। অর্থাৎ  $FC_2 = u$

$$\therefore \beta = \frac{IF}{FC_2} = \frac{IF}{u} \dots (v)$$

সমীকরণ (iv) ও (v) হইতে পাই,

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{IF}{u} \bigg/ \frac{IF}{f_2} = \frac{f_2}{u} \dots (vi)$$

আই-পিস-কর্তৃক অন্তিম প্রতিবিম্ব গঠন বিবেচনা করিয়া পাই,

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{f_2} \text{ বা, } \frac{1}{u} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f_2} = \frac{d+f_2}{df_2} \dots (vii)$$

$$\text{বা, } \frac{f_1}{u} = \frac{f_2}{f_2} \left(1 + \frac{f_2}{d}\right) \dots (viii)$$

সমীকরণ (vi) এবং (viii) হইতে লেখা যায়,

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{f_1}{f_2} \left(1 + \frac{f_2}{d}\right) \dots (8.7)$$

শুষ্কতাই,  $d \rightarrow \infty$  হইলে  $m = \frac{f_1}{f_2}$  [সমীকরণ (8.6) দৃষ্টব্য]

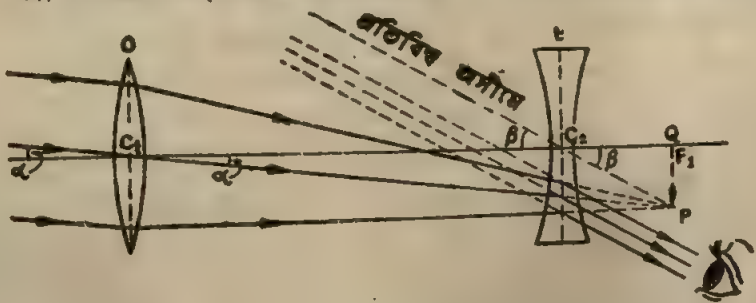
এই সময়, অব্জেকটিভ হইতে আই-পিসের দূরত্ব বা বীক্ষণ চোঙের দৈর্ঘ্য (tube length)

$$l = f_1 + u = f_1 + \frac{df_2}{d+f_2} \quad [\text{সমীকরণ (vii) হইতে}] \quad \dots \quad (8.8)$$

নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র প্রধানত আকাশের গ্রহ, নক্ষত্র ইত্যাদি জ্যোতিষ্মদের পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয়। এইরূপ ক্ষেত্রে লক্ষ্যবস্তু বহুদূরে থাকে বলিয়া উহাদের উজ্জ্বলতা কম হয়। যে-নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা যত বাড়াইতে পারিবে সেই যন্ত্র তত কার্যকরী। প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা বাড়াইতে হইলে যন্ত্রের অব্জেকটিভের উন্মেষ (aperture) আকারে বাড়াইতে হয়। ইহাতে-যে শূন্য প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা বাড়ে তাহাই নয়, লক্ষ্যবস্তুর খুঁটিনাটি দেখিবার ক্ষমতাও [বৈজ্ঞানিক পরিভাষায় বাহ্যক বিবেচনায় ক্ষমতা (resolving power) বলে] বাড়িয়া যায়। এই দুই কারণে, দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অব্জেকটিভের ব্যাস যত বাড়ে যন্ত্রটি তত বেশি শক্তিশালী হয়।

(ii) গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র : নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রে অন্তিম প্রতিবিম্বটি বস্তুর সাপেক্ষে অবশীর্ণ (inverted) হয় বলিয়া পার্থক্য বস্তু দেখিতে ইহা সুবিধাজনক নয়। গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রে এই অসুবিধা দূর করা হইয়াছে। নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের সাহিত ইহার পার্থক্য এই যে, গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণের আই-পিসটি অপসারী লেন্স। গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণে অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত অবশীর্ণ প্রতিবিম্বটিকে আই-পিসের দ্বারা সমশীর্ণ করিয়া লওয়া হয়। গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিসারী অব্জেকটিভ লেন্স এবং অপসারী আই-পিস সমাক্ষ অবস্থায় থাকে। এই দূরবীণে অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের দূরত্ব ইহাদের ফোকাস-দূরত্বের অন্তরফলের সমান (অন্তিম প্রতিবিম্বটি যখন অসীম দূরত্বে গঠিত হয়) বা প্রায় সমান (অন্তিম প্রতিবিম্বটি যখন সসীম দূরত্বে গঠিত হয়)।

গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণের মধ্য দিয়া আলোক-রশ্মির পথ-নির্দেশ : 8.6 নং চিত্রে O এবং E যথাক্রমে অব্জেকটিভ এবং আই-পিস।  $C_1$  এবং  $C_2$  ইহাদের আলোক-



চিত্র 8.6

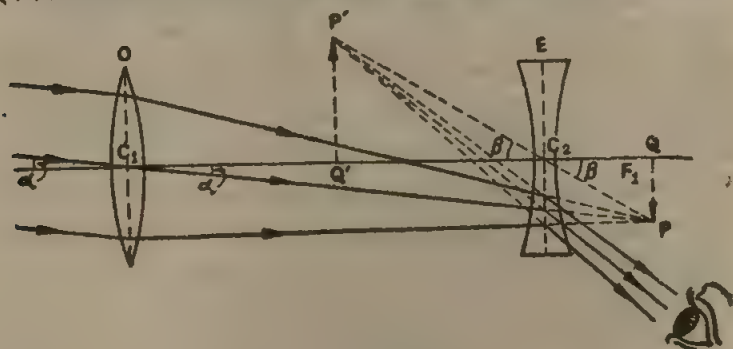
কেন্দ্র। অসীম দূরত্বে অবস্থিত বস্তু হইতে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ আসিয়া অব্জেকটিভ



O-এর উপর আপতিত হয় এবং ইহার দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস Q-তে লক্ষ্যবস্তুর সদৃশ এবং অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব PQ গঠন করে।

(a) প্রতিবিম্ব যখন অসীমে গঠিত হয় (Normal vision) : যদি আই-পিসটি এমনভাবে স্থাপন করা হয় যাহাতে ইহার প্রথম মুখ্য ফোকাস  $F_1$ -এর অবস্থান Q-বিন্দুর অবস্থানের সহিত সমাপতিত (coincident) হয়, তাহা হইলে অন্তিম প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হইবে। এই প্রতিবিম্ব বিবর্ধিত এবং বস্তুর সাপেক্ষে সমশীর্ষ (চিত্র 8.6)।

(b) প্রতিবিম্ব যখন স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম দূরত্বে (distinct vision) : আই-পিসটি এমনভাবে স্থাপন করা যায় যাহাতে অন্তিম প্রতিবিম্বটি স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম



চিত্র 8.7

দূরত্বে গঠিত হয়। এই সময় আই-পিসকে অব্জেকটিভের দিকে সামান্য সরাইতে হয় তাহাতে অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব PQ আই-পিসের প্রথম মুখ্য ফোকাস অপেক্ষা কিছুটা দূরে গঠিত হয় (চিত্র 8.7)।

উপরে বর্ণিত দুই প্রকার ফোকাসিং দুইটি প্রান্তিক ক্ষেত্র (two extreme cases)। অব্জেকটিভ লেন্সের সাপেক্ষে আই-পিসের অবস্থান বদলাইয়া অসীম হইতে চোখের নিকটবিন্দুর মধ্যে যে-কোন স্থানে অন্তিম প্রতিবিম্বটি গঠন করা যায়।

বিবর্ধন ক্ষমতা : নভোবীক্ষণ যন্ত্রের ন্যায় এক্ষেত্রেও বিবর্ধন-ক্ষমতা,

$$m = \frac{\text{প্রতিবিম্ব-কর্তৃক চোখে উৎপন্ন কোণ } (\beta)}{\text{লক্ষ্যবস্তু-কর্তৃক চোখে উৎপন্ন কোণ } (\alpha)}$$

(i) প্রতিবিম্ব যখন অসীম দূরত্বে গঠিত : 8.6 নং চিত্র হইতে পাই,

$$\tan \alpha = \frac{PQ}{C_1Q} \quad \dots \quad (i)$$

$$\text{এবং } \tan \beta = \frac{PQ}{C_2Q} \quad \dots \quad (ii)$$

$$\therefore \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} = \frac{PQ}{C_2Q} \bigg/ \frac{PQ}{C_1Q} = \frac{C_1Q}{C_2Q} \quad \dots \quad (iii)$$

$\beta$  এবং  $\alpha$  ক্ষুদ্র বলিয়া লেখা যায়,  $\tan \beta = \beta$  এবং  $\tan \alpha = \alpha$

$$\therefore \frac{\beta}{\alpha} = \frac{C_1 Q}{C_2 Q} \quad \dots \quad (iv)$$

এক্ষেত্রে,  $C_1 Q =$  অবজেক্টটির ফোকাস-দূরত্ব,  $f_1$

এবং  $C_2 Q = C_2 F_1 =$  আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব,  $f_2$

কাজেই, সমীকরণ (iv) হইতে  $m = \frac{f_1}{f_2} \quad \dots \quad (8.9)$

এক্ষেত্রে বীক্ষণ চোঙের দৈর্ঘ্য (optical tube length)

$$l = C_1 C_2 = C_1 Q - C_2 Q = (f_1 - f_2) \quad (8.10)$$

কাজেই, নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র অপেক্ষা এক্ষেত্রে চোঙের দৈর্ঘ্য কম।

(ii) প্রতিবিম্ব যখন স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম দূরত্বে গঠিত হয় :

এক্ষেত্রে 8.7 নং চিত্র হইতে পাই,

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{PQ}{C_2 Q} / \frac{PQ}{C_1 Q} = \frac{C_1 Q}{C_2 Q} = \frac{f}{f_2} \quad \dots \quad (v)$$

আই-পিসের ক্ষেত্রে, PQ অসদৃ বস্তু (virtual object) এবং P'Q' ইহার প্রতিবিম্ব-রূপে ক্রিয়া করিতেছে বলিয়া লেন্সের সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\frac{1}{C_2 Q'} - \frac{1}{C_2 Q} = \frac{1}{f_2} \quad \dots \quad (vi)$$

এখানে  $C_2 Q' =$  স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম দূরত্ব,  $d$

$$\therefore \text{সমীকরণ (vi) হইতে পাই, } \frac{1}{d} + \frac{1}{C_2 Q} = \frac{1}{f_2}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{C_2 Q} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{d} = \frac{d - f_2}{df_2} \quad \dots \quad (vii)$$

$$\text{বা, } \frac{f_1}{C_2 Q} = \frac{f_2}{f_2} \left(1 - \frac{f_2}{d}\right) \quad \dots \quad (viii)$$

সমীকরণ (v) এবং (viii) হইতে লিখিতে পারি,

$$m = \frac{f_1}{f_2} \left(1 - \frac{f_2}{d}\right) \quad \dots \quad (8.11)$$

এক্ষেত্রে, বীক্ষণ চোঙের দৈর্ঘ্য, অর্থাৎ অবজেক্টটি ও আই-পিসের দূরত্ব,

$$l = C_1 C_2 = C_1 Q - C_2 Q$$

$$\text{সমীকরণ (vii) হইতে, } C_2 Q = \frac{df_2}{d - f_2}$$

$$\therefore l = f_1 - \frac{df_2}{d - f_2} \quad \dots \quad (8.12)$$

## নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র এবং গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রের তুলনা

### নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র

(1) নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের আই-পিসটি একটি ক্ষুদ্র ফোকাস-দূরত্ব-বিশিষ্ট অভিসারী লেন্স।

(2) নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রে অন্তিম প্রতিবিম্বটি বস্তুর সাপেক্ষে অবশীর্ণ (inverted)।

(3) অন্তিম প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হইলে এক্ষেত্রে বীক্ষণ চোঙের দৈর্ঘ্য  $(f_1 + f_2)$ -এর সমান, অর্থাৎ অবজেক্টিভ এবং আই-পিসের দূরত্ব উহাদের ফোকাস-দূরত্বের যোগফলের সমান।

(4) অতি প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হইলে নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন-কমতা  $f_1/f_2$ -এর সমান।

(5) এক্ষেত্রে দৃষ্টিক্ষেত্রের কোণিক বিস্তার (angular field of view) কম। বিবর্ধন যত বেশি হয়, দৃষ্টিক্ষেত্র তত সঙ্কুচিত হয়।

(6) আকাশের গ্রহ, উপগ্রহ, নক্ষত্র ইত্যাদি জ্যোতিষ্ক দেখিবার জন্য নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। এইরূপ ক্ষেত্রে দৃষ্টিক্ষেত্র কম থাকিলেও কোন অসুবিধা হয় না, তাই ইহার বিবর্ধন বাড়ান যায়।

### গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র

(1) গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রের আই-পিসটি একটি ক্ষুদ্র ফোকাস-দূরত্ব-বিশিষ্ট অপসারী লেন্স।

(2) গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অন্তিম প্রতিবিম্বটি বস্তুর সাপেক্ষে সমশীর্ণ (erect)।

(3) অন্তিম প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হইলে এক্ষেত্রে বীক্ষণ চোঙের দৈর্ঘ্য  $(f_1 - f_2)$ -এর সমান, অর্থাৎ এক্ষেত্রে অবজেক্টিভ এবং আই-পিসের দূরত্ব উহাদের ফোকাস-দূরত্বের অন্তরফলের সমান।

(4) অন্তিম প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হইলে গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন-কমতাও  $f_1/f_2$ -এর সমান।

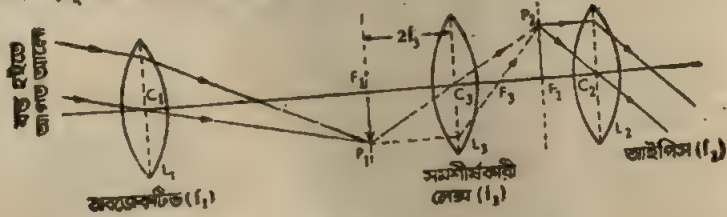
(5) একই বিবর্ধনের ক্ষেত্রে গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রের দৃষ্টিক্ষেত্র নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের দৃষ্টিক্ষেত্র অপেক্ষা কম। বিবর্ধন বর্ধিলে এক্ষেত্রেও দৃষ্টিক্ষেত্র সঙ্কুচিত হয়।

(6) পাণ্ডিত্যবান বস্তু দেখিবার জন্য গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে দৃষ্টিক্ষেত্র বড় হওয়া বাঞ্ছনীয়, তাই ইহার বিবর্ধন অপেক্ষাকৃত কম রাখা হয়।

(iii) ভূ-বীক্ষণ যন্ত্র (Terrestrial telescope); নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রে অন্তিম প্রতিবিম্ব অবশীর্ণ বলিয়া পাণ্ডিত্যবান কোন বস্তু দেখার পক্ষে ইহা উপযুক্ত নয়। নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অবজেক্টিভ এবং আই-পিসের মাঝামাঝি একটি উত্তল লেন্স বসাইয়া অবশীর্ণ প্রতিবিম্বকে সোজা করিয়া লওয়া যায়। যে-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে এই ব্যবস্থা থাকে তাহাকে ভূ-বীক্ষণ যন্ত্র বলা হয়। প্রতিবিম্বকে সমশীর্ণ করিবার উদ্দেশ্যে যে-উত্তল লেন্স ব্যবহার করা হয় তাহাকে বলা হয় সমশীর্ণকারী (erector) লেন্স।

৪.৪ নং চিত্রে  $L_1$  দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অবজেক্টিভ এবং  $L_2$  উহার আই-পিস। উহাদের মধ্যবর্তী  $L_3$  উত্তল লেন্সটিই সমশীর্ণকারী লেন্স। লেন্স তিনটি সমান্তরাল অবস্থানে স্থাপন থাকে। অবজেক্টিভ লেন্স  $L_1$ -এর দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব  $F_1P_1$  এই লেন্সের ফোকাস-তলে অবস্থিত। সমশীর্ণকারী লেন্স  $L_3$ -কে এমন অবস্থানে রাখা হয় বাহ্যতে  $P_1F_1$  প্রতিবিম্বটি এই লেন্স হইতে ইহার ফোকাস-দূরত্বের দ্বিগুণ দূরে থাকে। অর্থাৎ,

$F_1C_3 = 2f_3$ ,  $f_3$  সমশীর্ষকারী লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব। ইহাতে  $L_3$  লেন্সের বিপরীত দিকে একই দূরত্বে  $P_1$   $F_1$ -এর সমান আকারের প্রতিবিম্ব  $P_2F_3$  গঠিত হয়। আই-



চিত্র 8.8

পিসের সাহায্যে এই প্রতিবিম্বকে বখিত করিয়া দেখা হয়। ইহাতে অন্তিম প্রতিবিম্বটি বন্ধুর সাপেক্ষে সমশীর্ষ হয়। এই দূরবীক্ষণ যন্ত্র নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের তুলনায় দীর্ঘ-কেননা এখানে  $L_1$  হইতে  $L_3$ -এর দূরত্ব  $= (f_1 + 4f_3 + f_3)$

### ১. সমাজ্ঞানসহ গাণিতিক সমাধানসহ।

**উদাহরণ 8.5** একটি নভোবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস-দূরত্ব যথাক্রমে 50 cm এবং 2 cm। অন্তিম প্রতিবিম্ব অভিনেত্র হইতে 25 cm দূরে গঠিত হইলে যন্ত্রটির বিবর্ধন ক্ষমতা কত? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983]

**সমাধান :** আমরা জানি যে, নভোবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে অন্তিম প্রতিবিম্ব অভিনেত্র হইতে  $d$  দূরত্বে গঠিত হইলে প্রতিবিম্বের বিবর্ধন,

$$m = \frac{f_1}{f_2} \left( 1 + \frac{f_2}{d} \right)$$

এখানে,  $f_1$  = অভিলক্ষ্যের ফোকাস-দূরত্ব এবং  $f_2$  = অভিনেত্রের ফোকাস-দূরত্ব।

এখানে,  $f_1 = 50$  cm,  $f_2 = 2$  cm এবং  $d = 25$  cm

$$\text{সুতরাং, } m = \frac{50}{2} \left( 1 + \frac{2}{25} \right) = 27$$

**উদাহরণ 8.6** একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অবজেকটিভের ফোকাস-দূরত্ব 200 cm এবং আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব 10 cm ; অন্তিম প্রতিবিম্ব যখন আই-পিস হইতে (i) অসীম দূরত্বে এবং (ii) 100 cm দূরত্বে অবস্থিত হয় তখন বিবর্ধনের মান কত? এই দুই ক্ষেত্রে অবজেকটিভ এবং আই-পিসের দূরত্ব কত?

**সমাধান :** এখানে,  $f_1 = 200$  cm,  $f_2 = 10$  cm

(i) অন্তিম প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে অবস্থিত হইলে,

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{f_1}{f_2} \quad [\text{সমীকরণ (8.6) হইতে}]$$

$$= \frac{200}{10} = 20$$

এই সময়, অবজেকটিভ এবং আই-পিসের দূরত্ব,  $f_1 + f_2 = 200 + 10 = 210$  cm

(ii) অন্তিম প্রতিবিম্ব আই-পিস হইতে 100 cm দূরে অবস্থিত হইলে দেখা যায়,

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{f_1}{f_2} \left( 1 + \frac{f_2}{d} \right) \quad [\text{সমীকরণ (8.7) হইতে}]$$

$$= \frac{200}{10} \left( 1 + \frac{10}{100} \right) = 22$$



এই সময় অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের দূরত্ব

$$l = f_2 + \frac{df_2}{d + f_1} \quad [\text{সমীকরণ (8.8) হইতে}]$$

$$= 200 + \frac{10 \times \frac{10}{100}}{200 + \frac{10}{100}} = 209.09 \text{ cm}$$

**উদাহরণ 8.7** একটি নভোদ্রবীক্ষণ যন্ত্রে অব্জেকটিভ ও আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব যথাক্রমে 10 ইঞ্চি এবং 1 ইঞ্চি; ইহার সাহায্যে অব্জেকটিভ হইতে 5 ft দূরে অবস্থিত একটি বস্তুকে ফোকাস করা হইল। অন্তিম প্রতিবিম্বটি দর্শকের চোখ হইতে 10 ইঞ্চি দূরে গঠিত হইলে যন্ত্রটির দৈর্ঘ্য কত?

**সমাধান :** বস্তুটি অব্জেকটিভ হইতে 5 ft দূরে অবস্থিত বলিয়া লেখা যায়,  $u = 5 \text{ ft}$

$$\text{অব্জেকটিভের ফোকাস-দৈর্ঘ্য, } f_1 = \frac{10}{12} = \frac{5}{6} \text{ ft}$$

অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বটি অব্জেকটিভ হইতে  $v$  ft দূরে গঠিত হইলে লেখা যায়,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{5} = -\frac{1}{f_1} = -\frac{6}{5}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{v} = \frac{1}{5} - \frac{6}{5} = -1 \quad \text{বা, } v = -1 \text{ ft}$$

অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব আই-পিসের নিকট বস্তুর ন্যায় ক্রিয়া করে। যদি ধরিয়া লওয়া যায় যে, দর্শক আই-পিসের খুব কাছাকাছি চোখ রাখিয়াছে তাহা হইলে আই-পিস হইতে অন্তিম প্রতিবিম্বের দূরত্ব,  $V = 10 \text{ ইঞ্চি} = \frac{5}{6} \text{ ft}$ ; আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব,

$$f_2 = -1 \text{ ইঞ্চি} = -\frac{1}{12} \text{ ft}$$

লেপের সমীকরণ হইতে পাই,

$$\frac{1}{V} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_2} \quad \text{বা, } \frac{6}{5} - \frac{1}{u} = -12$$

$$\text{বা, } \frac{1}{u} = 12 + \frac{6}{5} = \frac{66}{5} \quad \text{বা, } u = \frac{5}{66} \text{ ft} = 0.076 \text{ ft (প্রায়)}$$

$$\text{কাজেই, নভোদ্রবীক্ষণ যন্ত্রটির দৈর্ঘ্য} = |v| + u = 1 + 0.076 \text{ ft} = 1.076 \text{ ft}$$

**উদাহরণ 8.8** (i) অন্তিম প্রতিবিম্ব যখন অসীমে গঠিত হয় তখন একটি গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা 4; এই সময় ইহার অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের দূরত্ব 21 হইলে ইহাদের ফোকাস-দূরত্ব কত?

(ii) অন্তিম প্রতিবিম্বটি চোখ হইতে 25 cm দূরে (স্পষ্ট দর্শনের নিম্নতম দূরত্বে) গঠিত হইলে ইহার বিবর্ধন কত হইবে? এইরূপ ফোকাসিং-এর জন্য আই-পিসটিকে উহার পূর্বাবস্থা হইতে কতটা সরাইতে হইবে?

**সমাধান :** (i) প্রশ্নের শর্তানুসারে,

$$m = \frac{f_1}{f_2} = 4 \quad \text{এবং } l = f_1 - f_2 = 21 \text{ cm}$$

$$\therefore f_1 = 28 \text{ cm} \quad \text{এবং } f_2 = 7 \text{ cm}$$

$$(ii) \text{ এক্ষেত্রে, } m = \frac{f_1}{f_2} \left(1 + \frac{f_2}{d}\right), \quad d = 25 \text{ cm}$$

$$\therefore m = \frac{28}{7} \left(1 - \frac{7}{25}\right) = 2.88$$

আবার, আই-পিস এবং অব্জেকটিভের দূরত্ব,  $l = f_1 - \frac{f_2 d}{d - f_2}$

$$= 28 - \frac{7 \times 25}{25 - 7} = 28 - 9.72 = 18.28 \text{ cm}$$

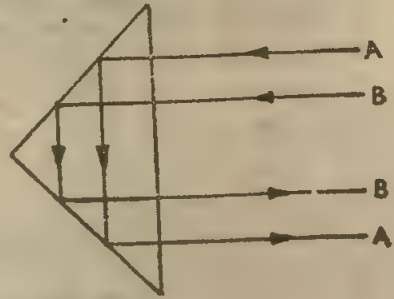
সুতরাং, আই-পিসকে পূর্বাবস্থান হইতে (21 - 18.28) বা, 2.72 cm সরাইতে হইবে।

### 8.7 সরল বাইনোকুলার বা অপেরা গ্লাস (Simple binocular or opera glass)

উল্লেখ করা হইয়াছে যে, পার্থক্য বস্তু দেখিবার জন্য গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করাই সুবিধাজনক। দুই চোখের সম্মুখে এইরূপ দুইটি দূরবীক্ষণ যন্ত্র পাশাপাশি রাখিয়া সরল বাইনোকুলার বা সরল দ্বিনেত্রী দূরবীক্ষণ যন্ত্র প্রস্তুত করা যায়। খেলার মাঠে, বড় বড় প্রেক্ষাগৃহে এইরূপ বাইনোকুলারের সাহায্যে দূরের জিনিস দেখা হয়। প্রেক্ষাগৃহে রঙ্গমঞ্চ লক্ষ্য করিবার জন্য এইরূপ বাইনোকুলার ব্যবহৃত হইত বালিয়া ইহাদিগকে অপেরা গ্লাসও বলা হয়।

### 8.8 প্রিজম বাইনোকুলার (Prism binocular)

দুইখানি পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম ব্যবহার করিয়াও অবশীর্ষ প্রতিবিম্বকে সমশীর্ষ করা যায়। যে-দূরবীণে ইহা করা হয় তাহাকে প্রিজম দূরবীণ বলে। প্রিজম বাইনোকুলার প্রকৃতপক্ষে এই দুইটি প্রিজম দূরবীক্ষণের সমন্বয়। দুইটি চোখে দেখিবার জন্য দুইটি দূরবীণ ব্যবহৃত হইয়া থাকে। অবশীর্ষ প্রতিবিম্বকে পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমের সাহায্যে কীরূপে সমশীর্ষ করা যায় তাহা না বুঝিলে প্রিজম বাইনোকুলারের কার্যনীতি বুঝা যায় না।

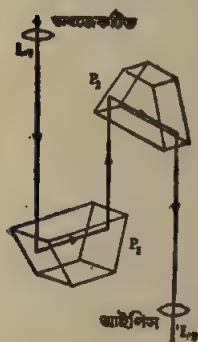


চিত্র 8.9

মনে করি, A ও B অক্ষর দ্বারা সূচিত দুইটি আলোক-রশ্মি একটি পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম-এর একপাশে আপতিত হইয়া উহার মধ্যে দুইবার পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া অপর পার্শ্ব হইতে নির্গত হইয়াছে।

8.9 নং চিত্র হইতে স্পষ্টতই দেখা যাইতেছে যে, প্রিজম-কর্তৃক পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া রশ্মি দুইটি একে অপরের সাপেক্ষে উপর-নিচ উল্টাইয়া গিয়াছে। কেননা A-চিহ্নিত রশ্মিটি B-চিহ্নিত রশ্মির উপরে ছিল, কিন্তু প্রিজমের মধ্যে পূর্ণ প্রতিফলিত হইবার পর উহা প্রতিফলিত B-রশ্মির নিচে আসিয়াছে। লক্ষ্য কর যে, এইরূপ ব্যবস্থার সাহায্যে কোন বস্তুকে উপর নিচ উল্টান যায়। কিন্তু অবশীর্ষ বিষয়ে সমশীর্ষ করিতে হইলে উহাকে শুধু উপর-নিচে উল্টাইয়া লইলেই চলবে না, উহাকে ডাইনে-বামেও উল্টাইয়া লইতে হয়। দুইটি পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমের যুগপৎ ক্রিয়ায় ইহা সম্ভব হয়। প্রিজম-টোলিস্কোপে অনুরূপ ব্যবস্থা থাকে। ইহাতে যে-দুইটি পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম থাকে উহাদের শীর্ষ (refracting edge) পরস্পরের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত।

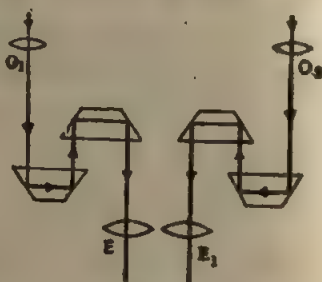
8.10 নং চিত্রে  $P_1$  এবং  $P_2$  অনুপভাবে অবস্থিত দুইটি প্রিজম। একটির সাহায্যে প্রতিবিম্বকে উপর-নিচে এবং অপরটির সাহায্যে উহাকে ডাইনে-বামে উল্টাইয়া লওয়া হয়। ইহাতে অবশীর্ষ প্রতিবিম্বটি উল্টাইয়া সমশীর্ষ হয়। 8.10 নং চিত্রে প্রকৃতপক্ষে একটি প্রিজম টেলিস্কোপ অঙ্কিত হইয়াছে।  $L_1$  এবং  $L_2$  বস্তুদর্শক ইহার অবজেক্টিভ এবং আই-পিস।



চিত্র 8.10

তৃতীয়াংশের মত হয়।

এইরূপ দুইটি প্রিজম-দূরবীক্ষণ যন্ত্র পাশাপাশি বসাইয়া প্রিজম বাইনোকুলার প্রস্তুত করা হয়। 8.11 নং চিত্রে এইরূপ বাইনোকুলারের বিভিন্ন অংশ দেখান হইয়াছে। বাইনোকুলার বা দ্বিনেত্রী দূরবীক্ষণ যন্ত্রের দুইটি আই-পিসে দর্শক দুই চোখ রাখে। দূরবীক্ষণ দুইটিকে একত্রে একটি ফ্রেমের মধ্যে এমনভাবে বসান থাকে যাহাতে উহাদের অক্ষদ্বয় পরস্পর সমান্তরাল হয়। আই-পিস  $E$  এবং  $E_2$ -এর দৃষ্টি এমন হওয়া প্রয়োজন যাহাতে উহাদের উপর দুইটি চোখ রাখিতে দর্শকের কোন অসুবিধা না হয়। দুইটি চোখ দিয়া দেখার ফলে এখানে দৃষ্টি স্বচ্ছন্দ হয়, কল্পিত ত্রিমাত্রিক বস্তু স্পষ্টতর ধারণা হয়।



চিত্র 8.11

সামরিক কাজকর্মে সৈনিকেরা, সমুদ্রযাত্রায় নাবিকেরা এইরূপ বাইনোকুলার ব্যাপকভাবে ব্যবহার করেন।

### সার-সংক্ষেপ

ক্যামেরার লেন্সের সাহায্যে ফটোগ্রাফিক ফিল্মে বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করা হয়। ক্যামেরার প্রধান অংশগুলোর মধ্যে আছে (i) আলো-নিবৃত্ত প্রকোষ্ঠ, (ii) ক্যামেরা লেন্স, (iii) ফটোগ্রাফিক প্রেট, (iv) ডায়োগ্রাফ, (v) সাটার এবং (vi) র‍্যাক ও পিনিয়ন ব্যবস্থা; আলো-নিবৃত্ত প্রকোষ্ঠ ফিল্মে অবাস্তিত আলো আসিতে দেয় না। ক্যামেরা-লেন্স বন্ধাবস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করে। ফটোগ্রাফিক প্রেটে ঐ প্রতিবিম্বের আলোকচিত্র তোলা হয়। ডায়োগ্রামের সাহায্যে ফিল্মে আপতিত আলোর পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করা হয়। সাটারের সাহায্যে ফিল্মে নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া আলোকসম্পাত ঘটান হয়। র‍্যাক ও পিনিয়ন ব্যবস্থার সাহায্যে লক্ষ্যবস্তু ফোকাসিং করা হয়।

একটি উত্তল লেন্স বিবর্ধক কাচ বা সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মত কাজ করে। ইহা প্রকৃতপক্ষে উত্তল লেন্স। বিবর্ধক কাচের বিবর্ধন,  $m = 1 + \frac{d}{f}$

এখানে  $d$  = স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব এবং  $f$  = ফোকাস-দূরত্ব।

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের প্রধান অংশ দুইটি—(i) অভিলক্ষ্য এবং (ii) অভিনেত্র। অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্র—উভয়েই একাধিক লেন্সের সমন্বয়ে গঠিত।

$$\text{অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বিবর্ধন, } m = \left( \frac{l}{f_1} - 1 \right) \left( 1 + \frac{d}{f_2} \right)$$

এখানে  $l$  = বীক্ষণ চোঙের দৈর্ঘ্য,  $f_1$  = অভিলক্ষ্যের ফোকাস-দূরত্ব,  $f_2$  = অভিনেত্রের ফোকাস-দূরত্ব এবং  $d$  = স্পষ্টদর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রেও অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র—এই দুইটি লেন্স-সংস্থা থাকে। দূরবীক্ষণ যন্ত্র নানা রকমের হইতে পারে।

নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রে লক্ষ্যবস্তুর অবশীর্ষ বা উষ্টান প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হইলে নভোবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন  $m = (f_1/f_2)$ ।

চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব যদি স্পষ্টদর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ( $d$ ) গঠিত হয় তাহা হইলে এই যন্ত্রে বিবর্ধন  $m = \frac{f_1}{f_2} \left( 1 + \frac{f_2}{d} \right)$ ।

গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে এই বিবর্ধনের মান  $m = \frac{f_1}{f_2} \left( 1 - \frac{f_2}{d} \right)$

গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিনেত্র লেন্সটি একটি অবতল লেন্স। এই যন্ত্রে অন্তিম প্রতিবিম্বটি বস্তুর সমশীর্ষ হয়।

### প্রশ্নাবলী ৪

#### হুবোডের প্রশ্নাবলী

1. দূরের বস্তুর সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠন করে এইরূপ একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের নাম কর।
2. নভোবীক্ষণ যন্ত্রের সাহিত ভূ-বীক্ষণ যন্ত্রের পার্থক্য কী?
3. নভোবীক্ষণ যন্ত্রকে কীভাবে ভূ-বীক্ষণ যন্ত্রে পরিণত করা যায়?
4. বিবর্ধক কাচ কোণিক বিবর্ধন সৃষ্টি করে না। তথাপি আমরা কী করিয়া বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখিতে পাই?

#### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

5. চিত্রসহ আলোকচিত্রগ্রাহী ক্যামেরার বিভিন্ন অংশের বর্ণনা দাও। ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

6. চিত্রসহ একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিভিন্ন অংশের বর্ণনা দাও। ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980 ; উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980 ] অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বৈশিষ্ট্য কী কী? [ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982 ]



7. যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী চিত্রসহ বর্ণনা কর। ইহার বিবর্ধন কোন্ কোন্ রাশির উপর নির্ভর করে? [ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982 ]
8. একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা ও চিত্রের সাহায্যে ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1979 ; উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981 ]
9. যৌগিক বিবর্ধন কাহাকে বলে? নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের যৌগিক বিবর্ধনের মান নির্ণয় কর।
10. গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের সহিত ইহার তুলনা কর।
11. অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। ইহার বিবর্ধন-ক্ষমতা কত? নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র ও গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যনীতির পার্থক্য আলোচনা কর। [ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]
12. একটি প্রিজম বাইনোকুলার গঠন কর। বাইনোকুলারের সহিত নভোবীক্ষণের তফাৎ কি? [ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1983 ]

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

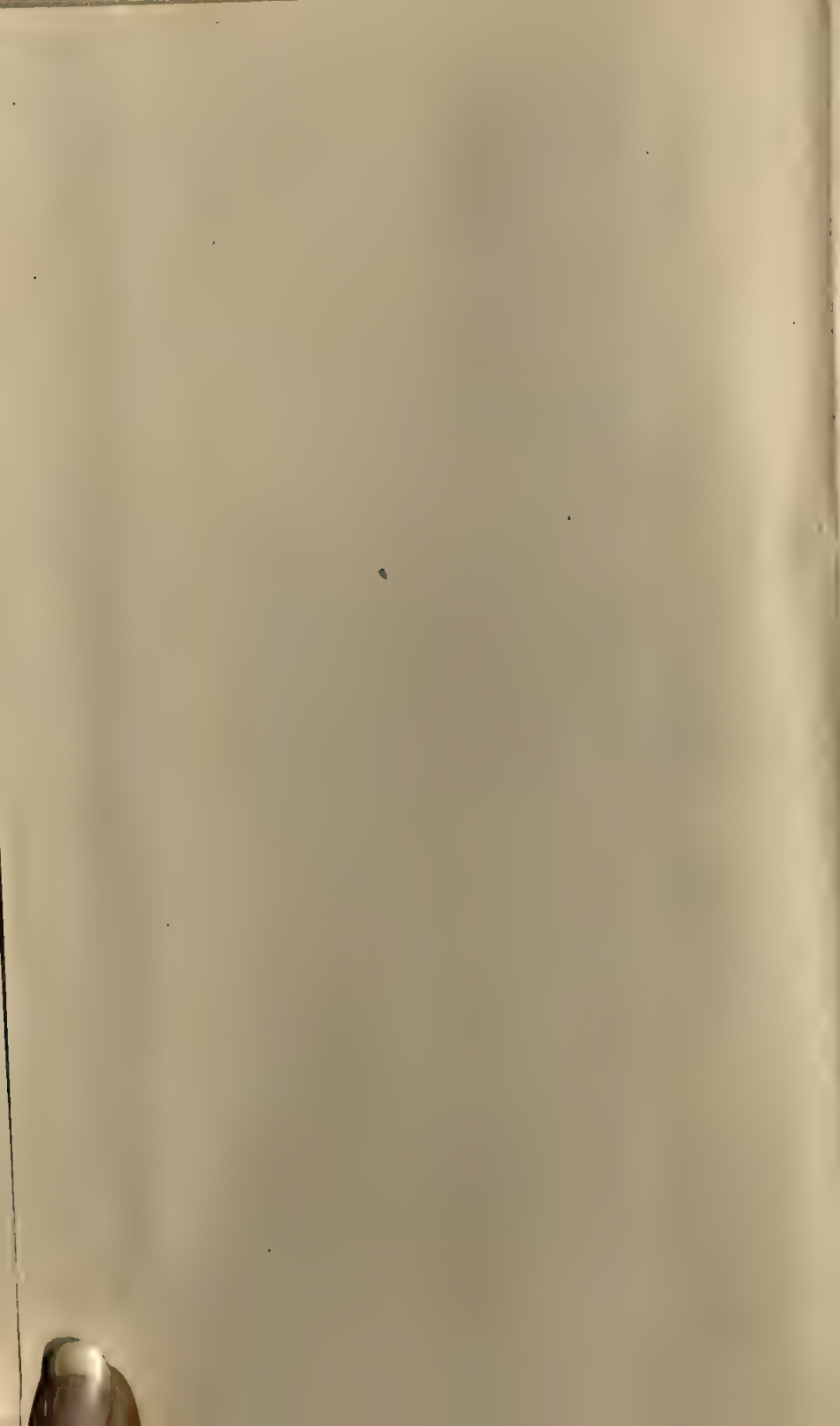
13. একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব যথাক্রমে 0.4 cm এবং 5 cm ; অব্জেকটিভ-কর্তৃক গঠিত বস্তুর সর্ববিশ্ব অব্জেকটিভ হইতে 22 cm দূরে অবস্থিত হইলে এবং আই-পিস-কর্তৃক গঠিত চূড়ান্ত অসদৃশ প্রতিবিম্বটি আই-পিস হইতে 25 cm দূরে অবস্থিত হইলে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন মান নির্ণয় কর। [524]
14. একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm এবং 2 cm ; ইহাদের দূরত্ব 15 cm। অন্তিম প্রতিবিম্বটি স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হইলে ইহার বিবর্ধন-ক্ষমতা কত? [59]
15. একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm এবং 2 cm ; অব্জেকটিভ হইতে 1.1 cm দূরে একটি বস্তু রাখা হইল। যদি অন্তিম প্রতিবিম্বটি চোখ হইতে 25 cm দূরে গঠিত হয় তাহা হইলে অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের মধ্যে দূরত্ব কত? [12.85 cm (প্রায়) ]
16. একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের লেন্সদ্বয়ের ফোকাস-দূরত্ব 0.5 cm এবং 1.50 cm ; যন্ত্রটির বিবর্ধন-ক্ষমতা 500 হইলে আই-পিস এবং অব্জেকটিভের অন্তর্বর্তী দূরত্ব কত হইবে? ধরিয়া লও যে, স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব 25 cm। [16.07 cm (প্রায়) ]
17. অন্তিম প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হইলে একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন-ক্ষমতা 20 ; ইহার আই-পিসের ফোকাস-দূরত্ব 5 cm। অন্তিম প্রতিবিম্ব আই-পিস হইতে 25 cm দূরে গঠিত হইলে দূরবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন-ক্ষমতা কত হইবে? [24]
18. একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন-ক্ষমতা 11 এবং অব্জেকটিভ হইতে আই-পিসের দূরত্ব 33 cm, যন্ত্রটির অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [33 cm, 3 cm]
19. একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অব্জেকটিভ এবং আই-পিসের দূরত্ব যথাক্রমে 50 cm এবং 2 cm, যখন অন্তিম প্রতিবিম্ব (i) অসীমে এবং (ii) আই-পিস হইতে 25 cm দূরে গঠিত হয়, তখন যন্ত্রটির বিবর্ধন-ক্ষমতা কত? [25, 27]



## চুম্বক

*Instinct with life, it safely points the way through  
trackless seas, which else were never sailed.*

—Anonymous





## চুম্বকের ধর্ম

*The obedient steel with living instinct moves, and veers forever to the pole it loves.*  
—Darwin

### 1.1 চুম্বকত্ব ও চুম্বক

অতি প্রাচীন কাল হইতেই চুম্বকের কথা মানুষের জানা ছিল। চুম্বকত্ব আবিষ্কার সম্বন্ধে একটি লোকশ্রুতি আছে। ম্যাগনেস (Magnes) নামক জনৈক মেঘপালক ক্রেট দ্বীপের (Island Crete) মাউন্ট ইডা পাহাড়ে উঠার সময় লক্ষ্য করে যে, তাহার হাতের ছাড়ির ধাতব প্রান্তটি এবং তাহার জুতার লোহার পেরেকগুলি শক্তভাবে মাটির সহিত আটকাইয়া গিয়াছে এবং জুতা পরিয়া সে হাঁটিতে পারিতেছে না। কারণ অনুসন্ধান করিবার জন্য সে ঐ স্থানে মাটি খুঁড়িতে থাকে এবং আশ্চর্য ক্ষমতাসম্পন্ন এক পাথর আবিষ্কার করে। এই পাথরের বর্তমান নাম লোডস্টোন (lode-stone) বা ম্যাগনেটাইট (magnetite)। ইহার দুইটি বিশেষ ধর্ম আছে। একটি হইল ইহার আকর্ষণ ক্ষমতা, অপরটি ইহার দিক-নির্দেশ ক্ষমতা। লোডস্টোন লোহাকে আকর্ষণ করে। তাহা ছাড়া, সূতার সাহায্যে বুলাইয়া দিলে ইহা সব সময় একটি নির্দিষ্ট দিকে আসিয়া স্থির হইয়া দাঁড়ায়। এইরূপ দিক-নির্দেশ ক্ষমতা আছে বলিয়া এই খনিজ পদার্থকে লিডিংস্টোন (leading-stone)-ও বলা হয়। লোডস্টোন বা ম্যাগনেটাইট নামক খনিজ পদার্থকে দিক-দর্শন যন্ত্র বা কম্পাসের মত ব্যবহার করা যায়। এ ধারণা অতি প্রাচীন। 121 খ্রীস্টাব্দেও চীনদেশে এ সত্য জানা ছিল, তাহার নিশ্চিত প্রমাণ পাওয়া গিয়াছে।

লোডস্টোনের লোহাকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা এবং দিক-নির্দেশ করিবার ক্ষমতাকে উহার চৌম্বক ধর্ম বলা হয়। যে-পদার্থের অনুরূপ আকর্ষণ ক্ষমতা এবং দিক-নির্দেশ ক্ষমতা আছে তাহাকে 'চুম্বক' বলে। ম্যাগনেটাইট একটি প্রাকৃতিক চুম্বক (natural magnet), কেননা ইহাকে প্রকৃতিতে চুম্বক অবস্থায় পাই। এই খনিজ পাথরটি লোহা এবং অক্সিজেনের একটি যৌগিক পদার্থ। এশিয়া মাইনরের ম্যাগনেশিয়া অঞ্চলে প্রচুর পরিমাণে এই পদার্থ পাওয়া যায়। অনেকের বিশ্বাস, এই কারণেই খনিজ পদার্থটির নাম দেওয়া হইয়াছে ম্যাগনেটাইট। নরওয়ে, সুইডেন, স্পেন ইত্যাদি স্থানেও ম্যাগনেটাইট পাওয়া যায়।

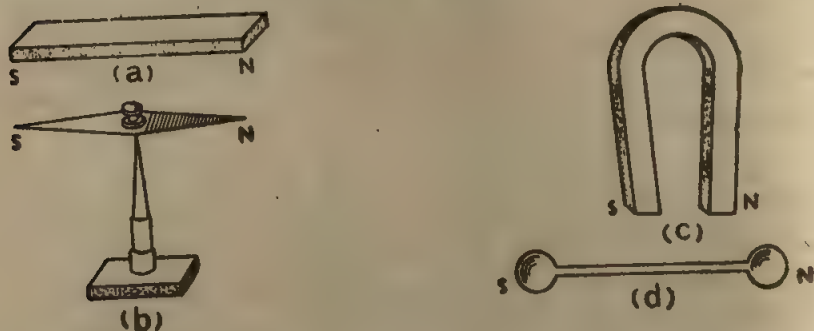
প্রাকৃতিক চুম্বকের চুম্বকত্ব অল্প, তাই, ইহার ব্যবহারিক প্রয়োগ নাই। সৌভাগ্যবশত নানা উপায়ে আমরা বিভিন্ন আকৃতির শক্তিশালী কৃত্রিম চুম্বক (artificial magnet) তৈয়ারী করিতে পারি।

### 1.2 বিভিন্ন কৃত্রিম চুম্বক

লোহা, কোবাল্ট, নিকেল ইত্যাদি ধাতু এবং ইহাদের কয়েকটি ধাতুসংকর দ্বারা কৃত্রিম চুম্বক তৈয়ারী করা যায়। কৃত্রিম চুম্বক বিভিন্ন আকারের হইতে পারে। যথা—



(a) দণ্ড-চুম্বক, (b) সূচী-চুম্বক, (c) অধকুরাকৃতি চুম্বক, (d) প্রান্তে বলবৃত্ত দণ্ড-চুম্বক (চিত্র 1.1)। যে-সব চুম্বকে বহুদিন ধরিয়া উহাদের চুম্বকত্ব বজায় থাকে তাহাদের বলা হয় স্থায়ী চুম্বক। ইস্পাত, টাংস্টেন স্টিলকে চুম্বকে পরিণত করিলে ইহাদের চুম্বকত্ব স্থায়ী হয়। অনেক সময় পদার্থের চুম্বকত্ব দীর্ঘ সময় স্থায়ী হয় না। কাঁচা লোহাকে চুম্বকে পরিণত করিলে উহার চুম্বকত্ব স্থায়ী হয় না। এইরূপ চুম্বকে



চিত্র 1.1

অস্থায়ী চুম্বক বলে। কাঁচা লোহার দণ্ডের গায়ে অন্তরিতভাবে জড়ান তামার তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হয়। তারের তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ করিয়া দিলে তৎক্ষণাৎ উহার চুম্বকত্ব প্রায় লোপ পায়। এই ধরনের অস্থায়ী চুম্বককে তড়িৎ-চুম্বক (electromagnet) বলা হয়।

### 1.3 চুম্বকের সাধারণ ধর্ম

সমস্ত চুম্বকেরই কয়েকটি সাধারণ ধর্ম আছে। কয়েকটি পরীক্ষার সাহায্যে এই ধর্মগুলি আলোচনা করা হইল।

(i) চুম্বকের আকর্ষণ ক্ষমতা আছে। লোহা, নিকেল, কোবাল্ট ইত্যাদি চৌম্বক পদার্থ চুম্বকের প্রতি আকৃষ্ট হয়। এক টুকরা কাগজের উপর কিছুটা লোহার গুঁড়া

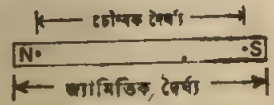


চিত্র 1.2

মাঝামাঝি অংশের বিশেষ আকর্ষণ-ক্ষমতা নাই। কোন চুম্বকের দুই প্রান্তে যে-স্থানে

রাখা হইল। এইবার একটি দণ্ড-চুম্বকে এই লোহার গুঁড়ির মধ্যে ডুবান হইল। চুম্বকটিকে কাগজ হইতে তুলিয়া লইলে দেখা যাইবে যে, দণ্ড-চুম্বকের গায়ে অনেক লোহার গুঁড়া লাগিয়া আছে (চিত্র 1.2)। আরও লক্ষ্য করা যাইবে যে, চুম্বকের দুই প্রান্তেই সবচেয়ে বেশি লোহার গুঁড়া আটকাইয়া আছে, মাঝের অংশে তেমন লোহার গুঁড়া আটকাইয়া নাই। সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, চুম্বকের দুই প্রান্তের আকর্ষণ-ক্ষমতা বেশি, চুম্বকের

চুম্বকের আকর্ষণ-ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি তাহাকে চুম্বকের মেরু বলে। দণ্ড-চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যবর্তী দূরত্বকে চৌম্বক দৈর্ঘ্য (magnetic length) বলা হয় (চিত্র 1.3)। চুম্বকের জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য অপেক্ষা চৌম্বক-দৈর্ঘ্য কিছুটা কম হয়। দণ্ড-চুম্বকের ক্ষেত্রে চৌম্বক-দৈর্ঘ্য সাধারণত ইহার জ্যামিতিক দৈর্ঘ্যের প্রায় 85% হয়।



(ii) চুম্বকের দিক নির্দেশক ধর্ম আছে :

নিচের পরীক্ষার সাহায্যে তাহা প্রমাণ করা যায়। একটি দণ্ড-চুম্বকের মাঝখানে সূতা বাঁধিয়া ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। এই অবস্থায় চুম্বকটি অনুভূমিক তলে অবস্থে ঘুরিতে পারে; দেখা যাইবে যে, সাম্যাবস্থায় চুম্বকটি উত্তর দক্ষিণে মুখ করিয়া ঝুলিতেছে (চিত্র 1.4)। ঝুলন্ত চুম্বকটির যে-প্রান্ত উত্তর দিকে মুখ করিয়া স্থির হইয়াছে তাহাতে খড়ি দিয়া N এবং যে-প্রান্তটি দক্ষিণমুখী হইয়া সাম্যে আসিয়াছে তাহাতে S লিখিয়া প্রান্ত দুইটিকে চিহ্নিত করা হইল। এইবার

চিত্র 1.3

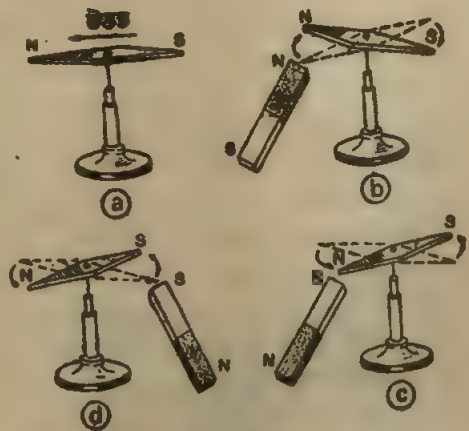


চিত্র 1.4

চুম্বকটির একপ্রান্ত ধরিয়া যে-কোনও দিকে ঘুরাইয়া দিলে দেখা যাইবে বার কয়েক দোল খাইবার পর চুম্বকের N চিহ্নিত প্রান্তটি পুনরায় উত্তর দিকে এবং S চিহ্নিত প্রান্তটি পুনরায় দক্ষিণ দিকে মুখ করিয়া স্থির হইয়াছে। চুম্বকটিকে যতবারই এবং যে-কোন দিকেই দোলাইয়া দেওয়া হউক না কেন, কিছুক্ষণ দোল খাইবার পর প্রান্তদ্বয়ই N-প্রান্তটি উত্তরমুখী হইয়া এবং S-প্রান্তটি দক্ষিণমুখী হইয়া স্থির হয়। স্থির অবস্থায় চুম্বকের যে-মেরু সবসময় উত্তর দিকে মুখ করিয়া থাকে তাহাকে উত্তর-সন্ধানী মেরু (North seeking pole) বা

উত্তর মেরু (North pole) বলে এবং যে-মেরুটি দক্ষিণ দিকে মুখ করিয়া থাকে তাহাকে দক্ষিণ-সন্ধানী মেরু বা দক্ষিণ মেরু (South pole) বলা হয়।

(iii) একটি চুম্বক-মেরু, অপর একটি চুম্বক-মেরুকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে। এক টি দণ্ড-চুম্বকের দক্ষিণ-মেরুকে একটি চুম্বক-শলাকার দক্ষিণ মেরুর নিকট আনিলে দেখা যাইবে যে, চুম্বক-শলাকার দক্ষিণ মেরুটি বিকর্ষিত হইয়া দূরে সরিয়া যাইতেছে। দণ্ড-চুম্বকের উত্তর-মেরুকে চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুর নিকট আনিলেও অনুরূপ বিকর্ষণ দেখা যাইবে। কিন্তু দণ্ড-চুম্বকের S মেরুকে



চিত্র 1.5

চুম্বক-শলাকার N-মেরুর কাছে লইয়া গেলে, কিংবা দণ্ড-চুম্বকের N-মেরুকে চুম্বক-শলাকার S-মেরুর কাছে লইয়া গেলে, পরস্পরের আকর্ষণ দেখা যায়। সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, চুম্বকের সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং বিষম মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে (চিত্র 1.5)।

(iv) চুম্বক উহার নিকটবর্তী চৌম্বক পদার্থে চুম্বকত্ব আবিষ্ট করিতে পারে। এই প্রক্রিয়াকে চৌম্বক আবেশ (magnetic induction) বলা হয়।

একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে ইহা প্রমাণ করা যায়। একটি কাঁচা লোহার পেরেককে কিছু পরিমাণ লৌহচূর্ণের নিকটে ধরিলে দেখা যাইবে যে, পেরেকটি লৌহ-চূর্ণকে আকর্ষণ করিতে পারিতেছে না। এইবার একটি চুম্বকের যে-কোন মেরুকে পেরেকটির কাছাকাছি আনা হইল। এই সময় পেরেকটির নিকট লৌহচূর্ণ আনা হইলে পেরেকটি ঐ লৌহ-চূর্ণকে আকর্ষণ করিবে এবং কিছু পরিমাণ লৌহ-চূর্ণ উহার গায়ে লাগিয়া থাকিবে (চিত্র 1.6)।



চিত্র 1.6

হইতে লৌহচূর্ণ খসিয়া পড়িবে। ইহার দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, চুম্বকটির প্রভাবে কাঁচা লোহার পেরেকটিতে চুম্বকত্বের উদ্ভব হইয়াছিল।

আবেশের ফলে চৌম্বক পদার্থে আবেশী মেরুর সন্নিহিত মেরুর সৃষ্টি হয় এবং দূরবর্তী প্রান্তে সমমেরুর সৃষ্টি হয়।

আবেশী চুম্বক-মেরু চৌম্বক পদার্থের নিকটতর প্রান্তে বিপরীত মেরু এবং দূরতর প্রান্তে সম-মেরুর সৃষ্টি করে—একটি পরীক্ষার সাহায্যে তাহা প্রমাণ করা যায়।

একটি চুম্বক-শলাকা লওয়া হইল। চুম্বক-শলাকার কাছাকাছি কোন চুম্বক না থাকিলে শলাকাটি উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া স্থির হইবে। এইবার একটি দণ্ড-চুম্বকের উত্তর-মেরুকে পশ্চিম দিক

হইতে চুম্বক-শলাকাটির কাছে আনা হইল। দেখা যাইবে যে, চুম্বক-শলাকার N-মেরু বিকর্ষিত হইয়া পূর্বদিকে সরিয়া গিয়াছে [চিত্র 1.7 (a)]। এইবার চুম্বকটিকে সরাইয়া এমন দূরত্বে রাখা হইল যাহাতে চুম্বক-শলাকাটি ঐ চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত না হয়। ফলে চুম্বক-শলাকাটি পুনরায় উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া দাঁড়াইবে [চিত্র 1.7(b)]। এইবার একটি লম্বা কাঁচা লোহার দণ্ডকে

[a]

S N

[b]

S N

[c]

S N

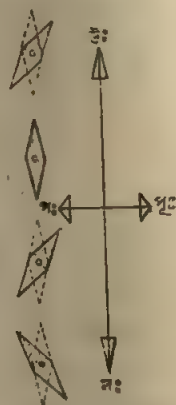
[d]

N S

কাঁচা লোহার দণ্ড

S N

N S



চিত্র 1.7

এইবার একটি লম্বা কাঁচা লোহার দণ্ডকে

চুম্বক ও চুম্বক-শলাকার মাঝখানে রাখিলে [চিত্র 1.7 (c)] দেখা যাইবে যে, চুম্বক-শলাকাটির উত্তর-মেরু আবার বিকর্ষিত হইয়া পূর্বদিকে সরিয়া গিয়াছে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, কাঁচা লোহার দণ্ডের পূর্বপ্রান্তে N-মেরুর সৃষ্টি হইয়াছে। এইবার আবেশী চুম্বকটিকে ঘুরাইয়া বসান হইল বাহাতে ইহার দক্ষিণ-মেরুটি কাঁচা লোহার দণ্ডটির দিকে মুখ করিয়া থাকে। এইবার দেখা যাইবে যে, চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরু আকৃষ্ট হইয়া পশ্চিম দিকে বাঁকিয়া গিয়াছে [চিত্র 1.7 (d)]। কাঁচা লোহার দণ্ডের পশ্চিম-প্রান্তে দক্ষিণ-মেরু সৃষ্টি না হইলে চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুটি আকৃষ্ট হইত না।

উপরের পরীক্ষা হইতে সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, আবেশী মেরু কাঁচা লোহার দণ্ডের দূরত্বের প্রান্তে সমমেরু এবং নিকটতর প্রান্তে বিপরীতমেরু সৃষ্টি করে।

আমরা জানি যে, চৌম্বক পদার্থ চুম্বকের দিকে আকৃষ্ট হয়, এই আকর্ষণের মূলে রহিয়াছে চৌম্বক আবেশ। যখন একটি চৌম্বক পদার্থকে একটি চুম্বক-মেরুর নিকটে আনা হয় তখন চৌম্বক পদার্থের নিকটতম প্রান্তে বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয় এবং দূরতর প্রান্তে সমমেরুর সৃষ্টি হয়। মনে করি, একটি চুম্বকের N-মেরুর নিকটে একখণ্ড কাঁচা লোহা রাখা হইয়াছে। এক্ষেত্রে কাঁচা লোহার যে-প্রান্ত N-মেরুর নিকটে রহিয়াছে সেই প্রান্তে দক্ষিণ-মেরু আবিষ্ট হইবে এবং বিপরীত প্রান্তে আবিষ্ট হইবে উত্তর-মেরু। আবিষ্ট S-মেরুটি চুম্বকের N-মেরুর দিকে আকৃষ্ট হইবে এবং বিপরীত প্রান্তে আবিষ্ট N-মেরুটি বিকর্ষিত হইবে। কিন্তু আবিষ্ট N-মেরুর দূরত্ব বেশি বলিয়া নিকটতর S-মেরুর উপর আকর্ষণ দূরবর্তী প্রান্তের N-মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বিকর্ষণ বল অপেক্ষা বেশি হইবে। কাজেই, লোহাখণ্ডটি চুম্বকের দিকে আকৃষ্ট হইবে।

● **আকর্ষণ অপেক্ষা বিকর্ষণ চুম্বকযের নির্ভরযোগ্য প্রমাণ :** একটি চুম্বক মেরু একটি বিপরীত-মেরুকে যেমন আকর্ষণ করে, তেমন একটি অচুম্বকিত চৌম্বক পদার্থকেও আকর্ষণ করে। কাজেই, একটি চুম্বক-মেরুকে কোন একটি চৌম্বক পদার্থের তৈয়ারী দণ্ডের এক প্রান্তে আনিলে যদি পরস্পরের আকর্ষণ ঘটিতে দেখা যায় তাহা হইলে দণ্ডটি চুম্বক কিনা তাহা নিশ্চিতভাবে বলা যায় না, কেননা, দুইটি বিভিন্ন ক্ষেত্রে এইরূপ আকর্ষণ সম্ভব —

(i) দণ্ডটির যে-প্রান্ত চুম্বক-মেরুর নিকটে আনা হইয়াছে সেই প্রান্তে বিপরীত মেরু-ধর্ম থাকিতে পারে,

আবার (ii) দণ্ডটি চৌম্বক পদার্থের তৈয়ারীও হইতে পারে। কাজেই, চুম্বক-মেরুর দ্বারা আকর্ষিত হইলেও বুঝবার উপায় নাই যে, দণ্ডটি একটি চুম্বক। কিন্তু দণ্ডটির কোন প্রান্তকে যদি একটি চুম্বক-মেরু দ্বারা বিকর্ষিত হইতে দেখা যায় তাহা হইলে এই নিশ্চিত সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায় যে, দণ্ডটি একটি চুম্বক, কেননা একটি চুম্বক-মেরু কেবলমাত্র সমধর্মী মেরুকেই বিকর্ষণ করে। সুতরাং, সিদ্ধান্তে আসিতে পারি যে, **আকর্ষণ অপেক্ষা বিকর্ষণ চুম্বকযের অধিকতর নির্ভরযোগ্য প্রমাণ।**

● **আবেশের প্রভাবে মেরুধর্মের পরিবর্তন :** কোন কণিশাতি চুম্বকের উত্তর-মেরুর নিকটে একটি শক্তিশালী চুম্বকের উত্তর-মেরু আনিলে ঐ কণিশাতি চুম্বকের



মেরুর প্রকৃতিগত পরিবর্তন ঘটিতে পারে। শক্তিশালী চুম্বকের উত্তর-মেরুর প্রভাবে ক্রীণশক্তি চুম্বকের উত্তর-মেরুতে দক্ষিণ-মেরু আকর্ষিত হয়। আকর্ষিত দক্ষিণ মেরু মেরুশক্তি যদি ক্রীণশক্তি চুম্বকটির উত্তর মেরুর মেরুশক্তি অপেক্ষা বেশি হয় তাহা হইলে ক্রীণশক্তি চুম্বকের উত্তর-মেরুটি দক্ষিণ-মেরুতে রূপান্তরিত হয়। এইজন্যই যদি একটি শক্তিশালী চুম্বকের উত্তর-মেরুকে অতি দ্রুত একটি ক্রীণশক্তি চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুর খুব নিকটে আনা হয় তাহা হইলে বিকর্ষণের পরিবর্তে আকর্ষণ হইতে দেখা যায়।

● দুইটি লৌহদণ্ডের মধ্যে একটিকে চুম্বকিত করা হইয়াছে। অন্য কোন কিছুর সাহায্য না লইয়া (এক টুকরা সূতাও নয়) উহাদের মধ্যে কোনটি চুম্বক তাহা কীরূপে স্থির করিবে?

মনে করি, A এবং B দুইটি প্রদত্ত দণ্ড। ইহাদের যে-কোন একটি চুম্বক। দণ্ডদ্বয়ের মধ্যে কোনটি চুম্বক তাহা নির্ধারণ করিবার জন্য নিম্নরূপ পরীক্ষা করা বাইতে পারে।

A দণ্ডটিকে টেবিলের উপর রাখিয়া B দণ্ডটির একটি প্রান্তকে A দণ্ডের সংস্পর্শে আনা হইল। ইহার পর B দণ্ডটিকে A দণ্ডের সংস্পর্শে রাখিয়া উহার দৈর্ঘ্য বরাবর এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্ত পর্যন্ত লইয়া যাওয়া হইল। যদি দেখা যায় যে, A দণ্ডের মধ্যবিন্দু হইতে দূরের বিভিন্ন বিন্দুতে B দণ্ডের এক প্রান্ত স্পর্শ করাইলে দণ্ডদ্বয়ের মধ্যে আকর্ষণ-বল ক্রিয়া করে, কিন্তু B-দণ্ডটি যদি A দণ্ডের মধ্যবিন্দুতে কোনরূপ আকর্ষণ-বল প্রয়োগ না করে তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, A দণ্ডটি চুম্বক।

আর, যদি A দণ্ডের সকল বিন্দুতেই সমান আকর্ষণ-বল ক্রিয়াশীল হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, B দণ্ডটি চুম্বক।

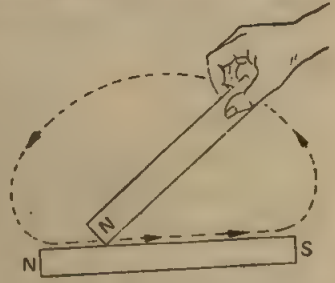
#### 1.4 চুম্বক প্রকৃতি

চৌম্বক পদার্থকে বিভিন্ন পদ্ধতিতে কৃত্রিম চুম্বকে পরিণত করা যায়। পদ্ধতি-গুলিকে প্রধানত দুইভাগে ভাগ করা যায়—(i) ঘর্ষণ পদ্ধতি, (ii) বৈদ্যুতিক পদ্ধতি।

(i) চুম্বকের সাহায্যে চৌম্বক পদার্থকে ঘর্ষণ করিয়া তিনটি বিভিন্ন পদ্ধতিতে কৃত্রিম চুম্বক তৈয়ারী করা যায়, যথা—(a) একক-স্পর্শ পদ্ধতি (method of single touch), (b) পৃথক-স্পর্শ পদ্ধতি (method of separate touch) এবং (c) দ্বন্দ্ব-স্পর্শ পদ্ধতি (method of double touch)। নিম্নে এই পদ্ধতিগুলি আলোচনা করা হইল।

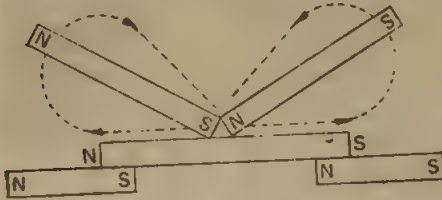
(a) একক-স্পর্শ পদ্ধতি : একটি ইস্পাত-দণ্ডকে টেবিলের উপর রাখিয়া একটি শক্তিশালী দণ্ড-চুম্বকের একটি মেরু (ধরা যাক, N-মেরু) দণ্ডটির একপ্রান্তে আনতভাবে ঠেকান হইল (চিত্র 1.8)। এই অবস্থায় চুম্বকটি ইস্পাত-দণ্ডের গা বরাবর অন্য প্রান্ত পর্যন্ত টানিয়া আনা হইল। এইবার চুম্বকটিকে ইস্পাত-দণ্ডটি হইতে তুলিয়া লইয়া পুনরায় পূর্বের অবস্থায় লইয়া যাওয়া হইল। চুম্বকটিকে পুনরায় ইস্পাত-

দণ্ডটির গা বরাবর ঘষিয়া অন্যপ্রান্তে লইয়া যাওয়া হইল। এইভাবে কয়েকবার চুম্বক দিয়া ঘষিবার পর ইম্পাত-দণ্ডটিকে উল্টাইয়া লইয়া দণ্ডের অপর পৃষ্ঠটিও অনুরূপভাবে চুম্বক দ্বারা ঘষা হইল। ইহাতে দেখা যাইবে যে, ইম্পাতদণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হইয়াছে। ইম্পাত-দণ্ডটির যে-প্রান্ত হইতে ঘর্ষণ শুরু হয়, সেই প্রান্তে ঘর্ষণকারী মেবুর সম্মুখী মেবুর সৃষ্টি হয়, যে-প্রান্তে ঘর্ষণ শেষ হয় সেই প্রান্তে ঘর্ষণকারী মেবুর বিপরীতমুখী মেবুর সৃষ্টি হয়। উপরে বর্ণিত পরীক্ষায় ঘর্ষণকারী মেবুটি উত্তর-মেবু হইলে যে-প্রান্তে ঘর্ষণ শুরু হয় সেই প্রান্তে উত্তর-মেবুর এবং বিপরীত প্রান্তে দক্ষিণ-মেবুর সৃষ্টি হয় (চিত্র 1.8)।



চিত্র 1.8

(b) পৃথক-পৃথক পদ্ধতি : এই পদ্ধতিতে ইম্পাত-দণ্ডটিকে দুইটি চুম্বকের সাহায্যে নিম্নোক্ত নিয়মে ঘষা হইল। ইম্পাত-দণ্ডটিকে টেবিলে রাখিয়া দুইটি সমান্তর-সম্পন্ন দণ্ড চুম্বকের বিপরীত মেবুকে গায়ে গায়ে লাগাইয়া দণ্ডের মাঝখানে আনতভাবে রাখা হইল (চিত্র 1.9)। এইবার চুম্বক দুইটিকে দণ্ডের গা বরাবর ঘষিয়া দুই দিকে অর্থাৎ



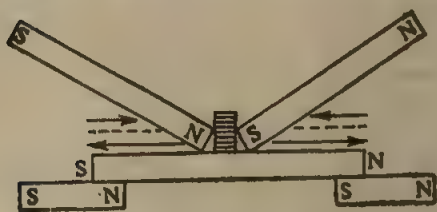
চিত্র 1.9

পুনরায় বিপরীত দিকে টানিয়া দণ্ডের দুই প্রান্তে লইয়া যাওয়া হইল। এইভাবে কয়েকবার ঘর্ষণ করিবার পর ইম্পাত দণ্ডটিকে উল্টাইয়া লইয়া উহার অপর পৃষ্ঠটি অনুরূপভাবে চুম্বক দুইটির সাহায্যে ঘষা হইল। ইহাতে দেখা যাইবে যে, ইম্পাত-দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হইয়াছে।

এক্ষেত্রে ঘর্ষণকারী মেবু যে-প্রান্তে ঘর্ষণ শেষ করে সেই প্রান্তে বিকল্প মেবুর সৃষ্টি হয়। ইম্পাত-দণ্ডটির দুই প্রান্তকে দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেবুর উপরে রাখিয়া অনুরূপ ঘর্ষণ-প্রণালী প্রয়োগ করিলে ইম্পাত-দণ্ডটি আরও শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হইবে। এখানে লক্ষণীয় যে, ইম্পাত-দণ্ডের তলার চুম্বক-মেবু ঘর্ষণকারী চুম্বক-মেবুর অনুরূপ হইতে হইবে; অর্থাৎ, ঘর্ষণকারী N-মেবু যে-প্রান্তে ঘর্ষণ শেষ করিতেছে সেই প্রান্তের তলার N-মেবু এবং ঘর্ষণকারী S-মেবু যে-প্রান্তে ঘর্ষণ শেষ করিতেছে সেই প্রান্তের তলার S-মেবু রাখা দরকার।

(c) বৃদ্ধ-পদ্ধতি : এই পদ্ধতিতে একটি ইম্পাত-দণ্ডকে টেবিলের উপর রাখিয়া সমান শক্তিশালী দুইটি চুম্বকে আনত দণ্ডের মাঝখানে রাখা হয়। এই মেবুদ্বয়ের মাঝখানে থাকে এক টুকরা কাঠ বা কর্ক বাহ্যতে দুইটি চুম্বক-মেবুর মধ্যে একটি

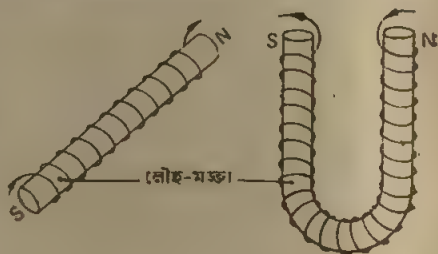
নির্দিষ্ট দূরত্ব থাকে (চিত্র 1.10)। এইবার দুইটি চুম্বকেই একত্রে একই দিকে দণ্ডের গা বরাবর ঘষিয়া একটি প্রান্ত পর্যন্ত লইয়া যাওয়া হয়। ইহার পর



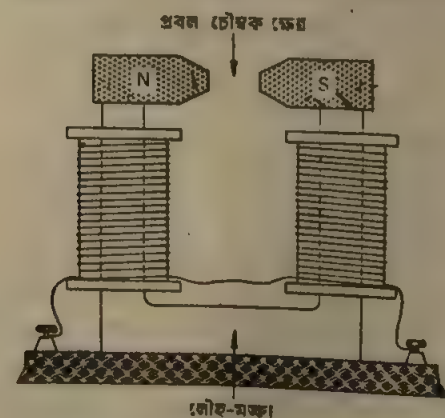
চিত্র 1.10

কয়েকবার ঘষিবার পর ইল্পাত-দণ্ডটিকে উল্টাইয়া লইয়া উহার অপর পৃষ্ঠও অনুবৃত্তভাবে ঘষা হইল। ইহাতে ইল্পাত-দণ্ডটি চুম্বকত্ব লাভ করিলে। পূর্ব-বর্ণিত পদ্ধতির ন্যায় এক্ষেত্রেও ইল্পাত-দণ্ডের দুই প্রান্ত দুইটি চুম্বকের দুই বিপরীত মেরুর উপর রাখা হয়।

(ii) বৈদ্যুতিক পদ্ধতি : তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যেও চৌম্বক পদার্থকে চুম্বক পরিণত করা যায়। একটি ইল্পাত-দণ্ড লইয়া উহার গায়ে অন্তরিত (insulated) তামার তার জড়ান হইল। তারটির মধ্য দিয়া ব্যাটারীর সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল [চিত্র 1.11]। দেখা যাইবে যে, ইল্পাত-দণ্ডটি চুম্বক পরিণত হইয়াছে। এইরূপ চুম্বককে তড়িচ্চুম্বক (electromagnet) বলা হয়। ইল্পাত-দণ্ডের পরিবর্তে অধক্ষুরাকৃতি ইল্পাত লইয়া উহার বাহুতে বিপরীত



চিত্র 1.11



চিত্র 1.12

তড়িচ্চুম্বক নানা রকম হইতে পারে। পরীক্ষাগারে উচ্চ প্রাবল্য-সম্পন্ন চৌম্বকক্ষেত্র

পাকে অন্তরিত তামার তার জড়াইয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে অধক্ষুরাকৃতি চুম্বক পাওয়া যাইবে। তড়িচ্চুম্বকের কোন প্রান্তে কোন মেরু সৃষ্টি হইবে তাহা নির্ভর করিবে ঐ প্রান্তের তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখের উপর। যে-প্রান্তে তড়িৎ-প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার সমমুখী বা দক্ষিণাবর্তী (clockwise) সেই প্রান্তে দক্ষিণ-মেরু এবং যে-প্রান্তে তড়িৎ-প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার বিপরীতমুখী বা বামাবর্তী (anticlockwise) সেই প্রান্তে উত্তর-মেরু সৃষ্টি হয়।

উৎপাদনের উদ্দেশ্যে সাধারণত যে-তড়িচ্চুম্বক ব্যবহৃত হয় তাহা 1.12 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। ইহাতে একটি U-আকৃতির লৌহমজ্জা থাকে। ইহার দুই বাহুকে বহু পাক-বিশিষ্ট দুইটি তারের কুণ্ডলীতে প্রবেশ করান থাকে। কুণ্ডলী দুইটি পরস্পর শ্রেণী-সমবাসে যুক্ত থাকে। ইহাদের সহিত যুক্ত বকুনী স্কু দুইটিকে ব্যাটারী-বর্তনীর সহিত যুক্ত করিলে উভয় তার-কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ যায়। ইহার ফলে U-লৌহ-মজ্জার দুই প্রান্তে দুই চুম্বক-মেরুর উদ্ভব হয়। উৎপন্ন তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান বাড়াইবার জন্য লৌহমজ্জার দুই উন্মুক্ত প্রান্তে দুইটি শঙ্কু-আকৃতির মেরু-খণ্ড (pole pieces) যুক্ত থাকে। এই দুই মেরুখণ্ড প্রকৃতপক্ষে দুইটি বিচ্ছিন্ন লৌহখণ্ড। ইহাদের দ্রব্বে ইচ্ছামত বদলাইয়া ইহাদের মধ্যবর্তী অঞ্চলের চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বদলান যায়।

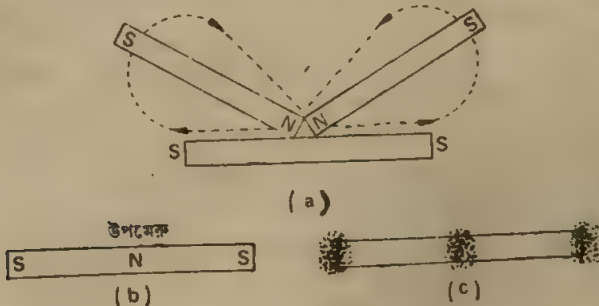
তড়িচ্চুম্বকের নানা ব্যবহারিক প্রয়োগ :

- (i) তড়িচ্চুম্বকের চুম্বকত্ব অস্থায়ী। তারের কুণ্ডলীর তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইলে তড়িচ্চুম্বকের চুম্বকত্ব প্রায় লোপ পায়। যে-সকল যন্ত্রে অস্থায়ী চুম্বক প্রয়োজন হয় সেই সকল যন্ত্রে তড়িচ্চুম্বক ব্যবহৃত হয়। টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, বৈদ্যুতিক ঘণ্টা, বিভিন্ন ধরনের রিলে (relay), ইত্যাদি যন্ত্রে ইহার ব্যবহার আছে।
- (ii) তড়িচ্চুম্বক খুব শক্তিশালী হইতে পারে বলিয়া মোটর, জেনারেটর ইত্যাদি যন্ত্রে তড়িচ্চুম্বক ব্যবহার করা হয়।
- (iii) অচৌম্বক পদার্থের সহিত লৌহ মিশ্রিত থাকিলে ঐ লৌহ পৃথক করিবার জন্য শক্তিশালী তড়িচ্চুম্বক ব্যবহৃত হয়।
- (iv) চোখে লোহার গুঁড়া ঢুকিলে উহা বাহির করিবার জন্য চক্ষু-চীকাৎসকগণ বিশেষ ধরনের তড়িচ্চুম্বক ব্যবহার করেন।

### 1.5 উপমেরু (Consequent poles)

সাধারণত চুম্বকের দুই প্রান্তে দুইটি মেরু থাকে এবং এই দুই মেরু হয় বিপরীতধর্মী। কিন্তু স্পর্শ পদ্ধতিতে চুম্বক তৈয়ারী করিবার সময় যদি কোন ত্রুটি থাকে, কিংবা বৈদ্যুতিক পদ্ধতিতে চুম্বক তৈয়ারী করিবার সময় যদি লৌহদণ্ডের উপর তড়িৎবাহী তার জড়াইবার পদ্ধতিতে ত্রুটি থাকে তাহা হইলে একই চুম্বকে দুইটির বেশি মেরুর সৃষ্টি হইতে পারে।

পৃথক স্পর্শ পদ্ধতিতে চুম্বকের সাহায্যে চুম্বক তৈয়ারী করিবার উদ্দেশ্যে ইস্পাত-দণ্ডকে



চিত্র 1.13

টেবিলে রাখিয়া দুইটি দণ্ডচুম্বকের একটির উত্তর-মেরু এবং অন্যটির দক্ষিণ মেরুকে

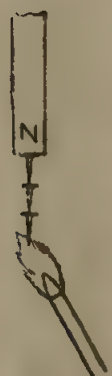


ইস্পাতদণ্ডের মাঝখানে আনতভাবে রাখা হয় এবং ইহাদিগকে দণ্ডের গা বরাবর দুই দিকে লইয়া যাওয়া হয়। কিন্তু অসতর্কতাবশত যদি চুম্বকদ্বয়ের দুই সম্মেলনকে (ধরা যাক, উত্তর-মেরু) ইস্পাত-দণ্ডের মাঝখানে স্পর্শ করান হয় এবং ইহাদিগকে দণ্ডের গা বাহিয়া দুই প্রান্তের দিকে লইয়া যাওয়া হয় [চিত্র 1.13 (a)] তাহা হইলে উৎপন্ন চুম্বকের দুই প্রান্তে দুই বিপরীতমুখী মেরুর সৃষ্টি না হইয়া দুইটি সমমেরুর (এক্ষেত্রে দক্ষিণ-মেরুর) সৃষ্টি হইবে। ইহা ছাড়া উৎপন্ন চুম্বকের মাঝামাঝি সৃষ্টি হইবে প্রান্তীয় মেরুদ্বয়ের বিপরীতমুখী মেরু (এক্ষেত্রে উত্তর মেরু)। 1.13 (b) নং চিত্রে ইহা দেখান হইয়াছে। উৎপন্ন চুম্বকটির মাঝখানে অবস্থিত চুম্বক-মেরুটিকে উপমেরু বলা হয়। এইরূপ উপমেরুযুক্ত দণ্ড-চুম্বককে লৌহচূর্ণের মধ্যে ডুবাইয়া তুলিয়া লইলে দেখা যাইবে যে, উহার দুই প্রান্ত ছাড়া মধ্যস্থলেও লৌহচূর্ণ আটকাইয়া আছে (চিত্র 1.13 (c))।

## 1.6 চুম্বকত্বের বিলোপ (Destruction of magnetism)

(i) তাপের প্রভাবে : একটি ইস্পাত-দণ্ডকে চুম্বকে পরিণত করা হইল এবং ইহার পর উহাকে এমন উষ্ণতা পর্যন্ত উত্তপ্ত করা হইল বাহাতে উহা হইতে লাল আভা নির্গত হইতে থাকে। অতঃপর ইহাকে ঠাণ্ডা করিয়া লৌহচূর্ণের নিকট ধরা হইল। দেখা যাইবে যে, ইহার চুম্বকত্ব লোপ পাইয়াছে।

একটি চুম্বক হইতে শৃঙ্খলের ন্যায় কয়েকটি পেরেক পর পর ঝুলাইয়া রাখিয়া বুনসেন দীপের সাহায্যে নিচের পেরেকটিকে উত্তপ্ত করিতে থাক (চিত্র 1.14)। দেখিবে যে, পেরেকটি যখন উত্তপ্ত হইয়া লাল আলো বিকিরণ করিতে থাকে তখন উহা চুম্বক হইতে খসিয়া পড়ে। পেরেকটি শীতল হইলে উহা পুনরায় চুম্বক-কর্তৃক আকৃষ্ট হয়।



উপরের দুইটি পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হয় যে, (i) যখন কোন চুম্বক বা একখণ্ড লোহা উচ্চ উষ্ণতা লাভ করে তখন ইহার অচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়। শীতল করিলে উহা পুনরায় চৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়। কিন্তু চুম্বককে উত্তপ্ত কারবার পর শীতল করিলে উহার চুম্বকত্ব ফিরিয়া আসে না। সমস্ত অমৌলিক পদার্থ (ferromagnetic materials) একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় চুম্বকে পরিণত হইবার ক্ষমতা হারায়। যে-উষ্ণতায় ইহা ঘটে তাহাকে কুরী বিন্দু (Curie point) বলা হয়। লোহার ক্ষেত্রে এই উষ্ণতা প্রায়  $770^{\circ}\text{C}$ , নিকেলের ক্ষেত্রে  $430^{\circ}\text{C}$  এবং কোবাল্টের ক্ষেত্রে  $1075^{\circ}\text{C}$ । লোহাকে  $1000^{\circ}\text{C}$  উষ্ণতা পর্যন্ত উত্তপ্ত করিয়া ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা করিতে করিতে প্রায় কুরী বিন্দুর নিকট পৌঁছিলে হঠাৎ প্রচুর পরিমাণে তাপ উৎপন্ন হয় এবং লোহা চিত্র 1.14 হঠাৎ উজ্জ্বলতর হইয়া উঠে। এই প্রক্রিয়াকে পুনঃতাপন (recalcence) বলা হয়। এই প্রক্রিয়া লোহার আভ্যন্তরীণ গঠনের পরিবর্তন নির্দেশ করে।

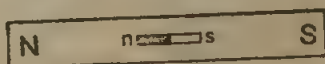
(ii) বৈদ্যুতিক উপারে : ক্রমবৃদ্ধিমান পরিবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে (alternating magnetic field) চুম্বক উহার চুম্বকত্ব হারায়। চুম্বককে একটি পরিবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিয়া চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান ধীরে ধীরে শূন্য পর্যন্ত

আনিলে চুম্বকের চুম্বকত্ব লোপ পায়। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ক্রমহ্রাসমান পরিবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি না করিলেও চলে। একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া স্থির বিস্তার (constant amplitude)-এর পরিবর্তী প্রবাহ পাঠাইয়া স্থির বিস্তারসম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করা হইল। প্রথমে চুম্বকটিকে ঐ কুণ্ডলীর মধ্যে রাখিয়া কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া পরিবর্তী প্রবাহ পাঠান হইল। প্রবাহ চালু রাখিয়া চুম্বকটিকে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর মধ্য হইতে বাহির করিয়া আনা হইল। কুণ্ডলী হইতে চুম্বকটি বাহির হইতে থাকিলে উহার উপর ক্রিয়াশীল পরিবর্তী চৌম্বক প্রাবল্যের মান ধীরে ধীরে হ্রাস পাইতে থাকিবে। ইহাতে কার্যত চুম্বকটির উপর একটি ক্রমহ্রাসমান পরিবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্র ক্রিয়া করিয়া উহার চুম্বকত্ব নাশ করিবে। টেপ-রেকর্ডারের 'ইরেজিং হেড' (erasing head) প্রকৃতপক্ষে এই পদ্ধতিতে কাজ করে।

(iii) আঘাতের প্রভাবে : কোন চুম্বককে বার বার হাতুড়ির সাহায্যে আঘাত করিলে বা উপর হইতে নিচে ফেলিয়া দিলে উহার চুম্বকত্ব হ্রাস বা লোপ পায়। আঘাতের ফলে চুম্বকটিতে যে-কম্পন সৃষ্টি হয় তাহার প্রভাবে উহার অণু-চুম্বকগুলির দীর্ঘ শৃঙ্খল ভাঙিয়া বার এবং উহারা পুনরায় অক্রমভাবে (randomly) সজ্জিত হয়। ফলে চুম্বকটির চুম্বকত্ব হ্রাস বা লোপ পায়।

(iv) সমমেরুর প্রভাবে : যদি দুইটি চুম্বককে দীর্ঘদিন এমনভাবে রাখা যায় যে, উহাদের সমমেরু পাশাপাশি থাকে, তাহা হইলে আবেশের ফলে উহারা পরস্পরের উপর বিপরীত মেরু আবিষ্ট করিতে চাহিবে, ফলে উভয়েরই চুম্বকত্ব হ্রাস পাইবে। দু-চৌম্বক ক্ষেত্রের আবেশ ক্রিয়ায়ও চুম্বকের চুম্বকত্ব হ্রাস পাইতে পারে। উত্তর গোলায় কোন চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে নিচের দিকে রাখিয়া উহাকে বুলাইয়া রাখিলে পৃথিবী-চুম্বক উহার উপর বিপরীত মেরু আবিষ্ট করে। ফলে চুম্বকটির চুম্বকত্ব হ্রাস পায়।

(v) আত্ম-বিচুম্বকণ (self-demagnetisation) : নিজের মেরু প্রভাবেও চুম্বকের শক্তি কমিতে পারে। 1.15 নং চিত্রে NS একটি দণ্ড-চুম্বক। ইহার এক প্রান্তে একটি উত্তর-মেরু (N) এবং অপর প্রান্তে একটি দক্ষিণ-মেরু (S) রহিয়াছে। উহার মধ্যবর্তী যে-কোন অণু-চুম্বকের উত্তর-মেরু (n) ও দক্ষিণ-মেরু (s) যথাক্রমে চুম্বকের উত্তর মেরু N এবং দক্ষিণ-মেরু S-এর দিকে। চুম্বকের উত্তর-মেরু অণু-চুম্বকের নিকটতর প্রান্তে (যে-প্রান্তে উত্তর-মেরু রহিয়াছে) দক্ষিণ-মেরু সৃষ্টি করিতে চায়, ফলে চুম্বকের অভ্যন্তরস্থ প্রতিটি অণু-চুম্বকই ঘুরিয়া যাইতে সচেষ্ট হয়।

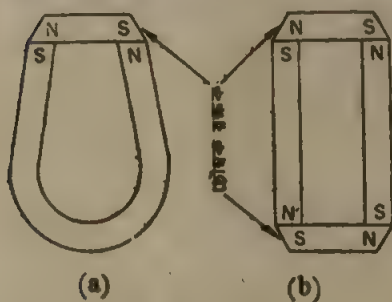


চিত্র 1.15

চুম্বকের S-মেরু অণু-চুম্বকের নিকটতর প্রান্তে (যে-প্রান্তে দক্ষিণ-মেরু রহিয়াছে) উত্তর-মেরু সৃষ্টি করিতে চায়। ইহার ফলেও অণু-চুম্বকগুলি ঘুরিয়া যাইতে প্রয়াসী হয়। অণু-চুম্বকগুলির এই প্রয়াসের ফলে চুম্বকের অভ্যন্তরস্থ প্রতিটি স্থানে চুম্বকের মান কমে, ফলে গোটা চুম্বকের মেরুশক্তি কমিয়া যায়। চুম্বকের নিজস্ব মেরুর প্রভাবে চুম্বকের মেরুশক্তির এই হ্রাসকে আত্ম-বিচুম্বকণ বলা হয়।

উপরের আলোচনা হইতে স্পষ্টতই বুঝা যাইতেছে যে, চুম্বকের দুই প্রান্তের মূল

মেরুর আবেশ ক্রিয়াই আত্ম-বিচুম্বকণের কারণ। কাজেই মুক্ত মেরুর উপস্থিতি এড়াইতে পারিলেই চুম্বকের আত্ম-বিচুম্বকণ বন্ধ করা যায়।



চিত্র 1.16

দুটি চুম্বকের ক্ষেত্রে দুইটি চুম্বকে পরস্পর সমান্তরালভাবে পাশাপাশি এমনভাবে রাখা হয় বাহ্যতে উহাদের বিপরীত মেরু মুখোমুখি থাকে। ইহার পর উহাদের উভয় প্রান্তে একটি ক্রিয়া নরম লোহার পাত বৃদ্ধ করা হয়। এই পাতগুলিকে চৌম্বক রক্ষক (magnetic keepers) বলা হয় [ চিত্র 1.16 (b) ]।

চুম্বকের উত্তর-মেরু চৌম্বক রক্ষকের নিকটতম প্রান্তে দক্ষিণ-মেরু আবিষ্ট করিবে এবং চুম্বকের দক্ষিণ-মেরু রক্ষকের নিকটতম প্রান্তে উত্তর-মেরু আবিষ্ট করিবে। ইহাতে চুম্বকে কোন মুক্ত মেরু ক্রিয়াশীল থাকে না, কারণ চুম্বকের মেরুগুলি এবং রক্ষকে আবিষ্ট মেরু-গুলি বদ্ধমুখ শৃঙ্খল (closed chain) সৃষ্টি করে। অধিকৃতভাবে চুম্বকের ক্ষেত্রেও এইরূপ রক্ষকের ব্যবহার করা হয় [ চিত্র 1.16 (a) ]। রক্ষক ব্যবহার করিলে চুম্বকে কোন স্থায়ী মেরুর অস্তিত্ব থাকে না বলিয়া আত্ম-বিচুম্বকণের সম্ভাবনা থাকে না।

### সার-সংক্ষেপ

চুম্বকের কয়েকটি সাধারণ ধর্ম আছে। নিম্নে তাহা উল্লেখ করা হইল :

(i) চুম্বকের আকর্ষণ ক্ষমতা আছে। চুম্বক লোহা, নিকেল, কোবাল্ট ইত্যাদি পদার্থকে আকর্ষণ করিতে পারে।

(ii) চুম্বকের দিক-নির্দেশ করিবার ক্ষমতা আছে। একটি দণ্ড-চুম্বকে সূতায় বাঁধিয়া স্কুলাইয়া দিলে উহা সর্বদা উত্তর-দক্ষিণ রেখা বরাবর আসিয়া স্থির হয়। স্থির অবস্থায় চুম্বকের যে-মেরু উত্তর-দিকে মুখ করিয়া থাকে তাহাকে উত্তর-মেরু এবং যে-মেরু দক্ষিণ দিকে মুখ করিয়া থাকে তাহাকে দক্ষিণ-মেরু বলা হয়।

(iii) সমধর্মী দুই চুম্বক-মেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং বিপরীতধর্মী দুই চুম্বক-মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

(iv) কোন চুম্বক-মেরুকে চৌম্বক পদার্থের নিকটে আনিলে ঐ চৌম্বক পদার্থে চুম্বক আবিষ্ট হয়। এই প্রক্রিয়াকে চৌম্বক আবেশ বলা হয়।

দুইটি পদ্ধতিতে চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করা যায়।

(i) **অর্ধ-পদ্ধতি :** এই পদ্ধতিতে চুম্বকের সাহায্যে নির্দিষ্ট নিয়মে চৌম্বক পদার্থকে ঐ পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করা হয়।

(ii) **বৈদ্যুতিক পদ্ধতি :** এই পদ্ধতিতে চৌম্বক পদার্থে জড়ানো তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া উহাকে চুম্বকে পরিণত করা হয়।

নানান কারণে চুম্বকের চুম্বকত্ব লোপ পাইতে পারে। (i) উত্তাপের প্রভাবে চুম্বকের চুম্বকত্ব লোপ পাইতে পারে। (ii) ক্রমহ্রাসমান পরিবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে চুম্বক উহার চৌম্বকত্ব হারায়। (iii) কোন চুম্বককে বার বার আঘাত করিলে কিংবা বার বার উপর হইতে নিচে ফেলিলে উহার চুম্বকত্ব হ্রাস বা লোপ পাইতে পারে। (iv) দুইটি চুম্বকের সম্মেলন পাশাপাশি থাকিলে পারস্পরিক আবেশ ক্রিয়ার উহাদের উভয়ের চুম্বকত্ব হ্রাস পায়। (v) আপন মুক্ত মেবুর প্রভাবেই চুম্বকের চুম্বকত্ব হ্রাস পাইতে পারে। ইহাকে আন্ত-বিচুম্বকণ বলা হয়। আন্ত-বিচুম্বকণ এড়াইবার জন্য এবং চুম্বকের চুম্বকত্ব দীর্ঘস্থায়ী করিবার জন্য চৌম্বক রকক ব্যবহৃত হয়।

## প্রশ্নাবলী 1

### হুম্বোন্ডর প্রশ্নাবলী

1. দুইটি লৌহদণ্ডের মধ্যে একটিকে চুম্বকিত করা হইয়াছে।, অন্য কোন কিছুর সাহায্য না লইয়া (এক টুকরা সূতাও নয়) উহাদের মধ্যে কোনটি চুম্বক তাহা কীরূপে স্থির করিবে?

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1972]

2. 'আগে আবেশ, পরে আকর্ষণ।' —উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

3. তোমাকে তিনটি একই প্রকার দণ্ড দেওয়া হইল। ইহাদের মধ্যে একটি দণ্ড-চুম্বক, একটি কাঁচা লোহার দণ্ড এবং অপরটি পিতলের দণ্ড। অন্য কোন কিছুর সাহায্য না লইয়া কোনটি কী তাহা কীরূপে স্থির করিবে?

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

4. ল্যাবরেটরীতে দণ্ড-চুম্বক রাখিবার জন্য আমরা জোড়ায় জোড়ায় উহাদের বিপরীত মেবুগুলি পাশাপাশি রাখিয়া উহাদের উভয় প্রান্তে একটি করিয়া নরম লোহার দণ্ড স্থাপন করি। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

5. একটি অধক্ষুরাকৃতি চুম্বকের দুই মেবুর মাঝখানে একটি নরম লোহার দণ্ড রাখিলে দেখা যায় যে ইহাতে চুম্বকটির চুম্বকত্ব অপেক্ষাকৃত ভালভাবে সংরক্ষিত হয়। ইহার কারণ কী?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

6. 'নিকেলের কুরী বিন্দু প্রায়  $350^{\circ}\text{C}$ ।' এই উক্তির তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (রিপদূরা), 1984]

7. স্থায়ী চুম্বক প্রস্তুত করিবার জন্য ইস্পাত না লোহা—কী পছন্দ করিবে এবং কেন?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

8. 'আকর্ষণ অপেক্ষা বিকর্ষণ চুম্বকত্বের অধিকতর নির্ভরযোগ্য প্রমাণ।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

9. একটি শক্তিশালী চুম্বক  $M_1$ -এর উত্তর-মেবুকে ঝুলানো একটি দুর্বল চুম্বক  $M_2$ -এর উত্তর-মেবুর নিকট ধীরে ধীরে আনা হইল। (i) যখন  $M_1$  চুম্বকটি  $M_2$  চুম্বক হইতে দূরে



এবং (ii) যখন  $M_1$  চুম্বকটি  $M_2$  চুম্বকের খুব কাছে তখন  $M_2$  চুম্বকের উত্তর-মেরু কীভাবে আচরণ করবে ?

10. চুম্বকের ধর্মগুলি আলোচনা কর। কোন চুম্বককে বুলাইয়া দিলে উহা সর্বদা উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া থাকে কেন ? চুম্বকের মেরু কাহাকে বলে ?

11. কৃত্রিম উপায়ে চুম্বক তৈয়ারী করিবার পদ্ধতিগুলি বর্ণনা কর। চুম্বকের চুম্বকত্ব কী কী কারণে লোপ পায় ?

12. চৌম্বক আবেশ কাহাকে বলে ? উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর যে, কোন চুম্বক-মেরু উহার নিকটেই চৌম্বক পদার্থের নিকটতর প্রান্তে বিঘন-মেরু এবং দূরতর প্রান্তে সম-মেরুর সৃষ্টি করে।

13. (a) যদি একটি শক্তিশালী চুম্বকের উত্তর-মেরুকে অপর একটি দুর্বল চুম্বকের উত্তর-মেরুর খুব নিকটে আনা হয় তাহা হইলে উহাদের মধ্যে ত্রিরাশীল প্রারম্ভিক বিকর্ষণ বল আকর্ষণ বলে রূপান্তরিত হয় কেন ব্যাখ্যা কর।

(b) চৌম্বক মেরুর প্রকৃতি নির্ণয়ে আকর্ষণ কি বিকর্ষণের নাম সন্তোষজনক পরীক্ষা ? যুক্তিসহ উত্তর দাও। (c) একটি চুম্বকের দুই মেরু যে সমান শক্তিশালী তাহা কীভাবে প্রমাণ করিবে ? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

14. আকর্ষ-বিচুম্বকণ কাহাকে বলে ? চৌম্বকরক্ষক ব্যবহার করিয়া কীভাবে আকর্ষ-বিচুম্বকণ এড়ান যায় ?

15. কী কী উপায়ে চুম্বকের চুম্বকত্বের বিলোপ ঘটে ? কুরী বিন্দু ও পুনঃপন বলিতে কী বুঝ ?

16. একটি অথকুরাকৃতি চুম্বকের দুই মেরুকে একটি নরম লোহার পাত দিয়া যুক্ত করিয়া রাখিলে উহার চুম্বকত্ব সংশ্লিষ্ট থাকে। ইহার কারণ কি ?

17. (a) কুরী বিন্দু বলিতে কী বুঝ ? [উচ্চ মাধ্যমিক (শীটসময়), 1986]

(b) একটি অথ-কুরাকৃতি চুম্বকের চুম্বকত্ব কীভাবে সংরক্ষণ করা যায় ?

[উচ্চ মাধ্যমিক (শীটসময়), 1980]

18. উপমেরু বলিতে কী বুঝ ? ইহা কীভাবে সৃষ্টি হয় তাহা যুক্তিসহ বুঝাইয়া বল।

[অরেস্ট এন্টোল, 1972]



## চৌম্বক ক্ষেত্র ও চৌম্বক বলরেখা

*The more you practice what you know, the more you know what to practice.*  
—W. Jenkin

### 2.1 ক্ষেত্র (Field)

পদার্থবিজ্ঞানে 'ক্ষেত্র' (field) কথাটি বহুল প্রচলিত। অভিকর্ষের আলোচনা প্রসঙ্গে আমরা অভিকর্ষ ক্ষেত্র (gravitational field), বলবিজ্ঞানের আলোচনায় বল ক্ষেত্র (force field), তড়িৎক্ষেত্রের আলোচনায় তড়িৎ-বিভব ক্ষেত্র (electric potential field) ইত্যাদির উল্লেখ করি। সুতরাং, চৌম্বক ক্ষেত্রের আলোচনায় প্রবেশ করিবার পূর্বে 'ক্ষেত্র' কথাটির সাধারণ সংজ্ঞা দেওয়া প্রয়োজন।

কোন অঞ্চলের প্রতিটি বিন্দুতে যদি কোন ভৌত রাশির মান বা মান্য (value) আলোচ্য বিন্দুর স্থানাঙ্কের অপেক্ষক (function of coordinates) হয় তাহা হইলে ঐ অঞ্চলকে উক্ত ভৌত রাশির ক্ষেত্র বলা হয়। ভৌত রাশি দুই প্রকার বলিয়া ক্ষেত্রও দুই প্রকার, যথা—স্কেলার ক্ষেত্র ও ভেক্টর ক্ষেত্র।

যে-অঞ্চলের প্রতিটি বিন্দুতে একটি স্কেলার ভৌত রাশি নির্দিষ্ট মান গ্রহণ করে ঐ অঞ্চলকে স্কেলার ক্ষেত্র বলা হয়। আবার, যে-অঞ্চলের প্রতিটি বিন্দুতে একটি ভেক্টর রাশির মান ও অভিমুখ নির্দিষ্ট তাহাকে ভেক্টর ক্ষেত্র বলা হয়।

**চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field) :** কোন চুম্বক বা চুম্বক-মেরুর নিকটবর্তী অঞ্চলের বিভিন্ন বিন্দুতে একটি একক উত্তর-মেরু স্থাপন করিলে উহার উপর একটি বল প্রযুক্ত হইবে। এই বলের মান ও অভিমুখ একক উত্তর-মেরুটির অবস্থানের উপর নির্ভরশীল। সুতরাং বলা যায়, কোন বিন্দুতে রক্ষিত উত্তর-মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বলের মান ঐ বিন্দুর স্থানাঙ্কের উপর নির্ভর করে। এই বল যে-অঞ্চল জুড়িয়া অনুভূত হইবে সেই অঞ্চলকে চৌম্বক বলের ক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্র বলা হয়। তাত্ত্বিক বিচারে কোন চুম্বক বা চৌম্বক মেরুর সকল দিকে অসীম দূরত্ব পর্যন্ত চৌম্বক ক্ষেত্র বিস্তৃত। কিন্তু কার্যত চুম্বক বা চৌম্বক মেরু হইতে কিছুদূর পর ইহার বিশেষ কোন প্রভাব থাকে না।

### 2.2 কুলম্বের সূত্র

দুইটি চুম্বক-মেরুর পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণের মান কত হইবে তাহা কুলম্বের সূত্র হইতে জানা যায়। সূত্রগুলি নিম্নরূপ—

(i) স্থির দূরত্বে রাখিলে চুম্বক-মেরুর পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ উহাদের মেরুশক্তির গুণফলের সমানুপাতিক।

(ii) দুইটি চুম্বক-মেরু পরস্পরের উপর যে-আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে তাহা উহাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

কুলম্বের সূত্রের দ্বিতীয় অংশকে বর্গের ব্যস্তানুপাতে সূত্রও বলা হয়।

মনে করি, দুইটি চুম্বক-মেরুর মেরুশক্তি  $m_1$  ও  $m_2$  এবং উহাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব  $r$ । পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ-বলকে  $F$  দ্বারা সূচিত করিলে কুলম্বের সূত্রানুসারে লেখা যায়,

$$(a) \quad F \propto m_1 m_2 \quad (r \text{ স্থির থাকিলে})$$

$$(b) \quad F \propto \frac{1}{r^2} \quad (m_1 \text{ এবং } m_2 \text{ স্থির থাকিলে})$$

সুতরাং  $m_1$ ,  $m_2$  এবং  $r$  সকলেই পরিবর্তিত হইলে লেখা যাইবে,

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{বা,} \quad F = \frac{1}{\mu} \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \dots (2.1)$$

এখানে  $\mu$  একটি ধ্রুবক। মেরুদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতির উপর ইহার মান নির্ভর করে। ইহাকে মাধ্যমের চৌম্বক তেজতা (magnetic permeability) বলা হয়। শূন্য-মাধ্যমে  $\mu=1$ ; বায়ুর ক্ষেত্রেও  $\mu$ -এর মান কার্যত 1 ধরা হয়।

### 2.3 একক মেরু

সমান মেরুশক্তিসম্পন্ন দুইটি সমানমাত্রী চুম্বক-মেরুকে শূন্যস্থানে 1 cm ব্যবধানে রাখিলে যদি উহাদের পারস্পরিক বিকর্ষণ বলের মান 1 ডাইন হয় তাহা হইলে ঐ দুই মেরুদ্বয়ের প্রতিটিকে একক চুম্বক-মেরু বা একক মেরু বলা হয়।

কোন চুম্বক-মেরুর মেরুশক্তি 100 সি. জি. এস. একক বলিতে বুঝিতে হইবে যে, শূন্যস্থানে ঐ মেরু হইতে 1 cm দূরে একটি একক চুম্বক-মেরু রাখিলে পরস্পরের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের মান হইবে 100 ডাইন।

### 2.4 চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য

(Magnetic intensity or field strength)

চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে একটি একক উত্তর-মেরু রাখিলে উহার উপর যে-বল ক্রিয়া করে তাহাকে ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলা হয়। বল একটি ভেক্টর রাশি বলিয়া চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যও ভেক্টর রাশি।

$m$  মেরুশক্তিসম্পন্ন একটি উত্তর-মেরুর চারিদিকে যে-চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হয় নিরে সেই চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে প্রাবল্য নির্ণয় করা হইয়াছে।

মনে করি, কোন নির্দেশতন্ত্রের মূলবিন্দু O-তে  $m$  মেরুশক্তিসম্পন্ন একটি উত্তর-মেরু



চিত্র 2.1

রাহিয়াছে (চিত্র 2.1)। উহার নিকটবর্তী কোন একটি বিন্দু P-তে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করিতে হইবে। P বিন্দুতে একটি একক

উত্তর-মেরু রাখিলে ঐ মেরুর উপর O-বিন্দুতে অবস্থিত মেরু যে-বল প্রয়োগ করিবে সংজ্ঞানুসারে তাহাই হইল P-বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য।

কুলম্বের সূত্রানুসারে, O বিন্দুর উত্তর-মেরু P বিন্দুর একক উত্তর-মেরুর উপর যে-বল প্রয়োগ করে তাহার মান

$$H = \frac{m \times 1}{\mu r^2} \cdot \vec{n} = \frac{m}{\mu r^2} \vec{n}$$

$\vec{n}$  হইল একটি একক ভেক্টর। ইহার অভিমুখ O হইতে P-এর দিকে। O-বিন্দুর সাপেক্ষে P বিন্দুর অবস্থান ভেক্টর  $\vec{r}$  হইলে  $\vec{n} = \frac{\vec{r}}{r}$

$$\text{সুতরাং, P-বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য, } H = \frac{m}{\mu r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = \frac{m}{\mu r^3} \vec{r}$$

শূন্য স্থানে বা বায়ুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান

$$H = \frac{m}{r^3} \cdot \vec{n} = \frac{m}{r^3} \cdot \vec{r} \quad (\text{এক্ষেত্রে } \mu=1 \text{ বলিয়া})$$

চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের একক : চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে একক মেরু রাখিলে যদি উহার উপর এক ডাইন বল ক্রিয়া করে তাহা হইলে ঐ বিন্দুর প্রাবল্যকে 1 একক ধরা হয়। প্রাবল্যের এই একককে বলা হয় 1 ওয়বস্টেড (oersted)। চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুর প্রাবল্য H oersted হইলে ঐ বিন্দুতে রক্ষিত m শক্তির মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বলের মান হইবে mH ডাইন। অর্থাৎ,

$$\begin{aligned} \text{চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন মেরুর উপর প্রযুক্ত বল, } F \\ = \text{মেরু-শক্তি} \times \text{চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য} \end{aligned}$$

## 2.5 , চৌম্বক বলরেখা (Magnetic lines of force)

কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে একটি চুম্বক-মেরু স্থাপন করিলে উহার উপর একটি বল ক্রিয়া করিবে এবং মেরুটি যদি অবাধে চলনক্ষম হয় তাহা হইলে উহা চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি রেখা ধরিয়া চলিতে থাকিবে।

কোন কাল্পনিক উত্তর-মেরুকে মূলভাবে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে ছাড়িয়া দিলে উহা যে-কাল্পনিক রেখা ধরিয়া চলিতে থাকিবে তাহাকে চৌম্বক বলরেখা বলা হয়। এক্ষেত্রে ধরিয়া লইতে হইবে যে, ঐ কাল্পনিক উত্তর-মেরুকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করায় আলোচ্য চৌম্বক ক্ষেত্রটির কোনরূপ পরিবর্তন হয় না। বলরেখার যে-কোন বিন্দুতে স্পর্শক টানিলে উক্ত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ নির্দেশ করিবে।

চৌম্বক বলরেখার ধর্ম : বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে চৌম্বক বলরেখার উপর কয়েকটি ধর্ম আরোপ করিয়াছেন। বলরেখাগুলির এইসব ধর্ম রহিয়াছে—এইরূপ ধরিয়া লইলে চুম্বকত্ব-সংক্রান্ত বিভিন্ন ঘটনার ব্যাখ্যা করা যায়। বলরেখার ধর্মগুলি নিম্নরূপ—

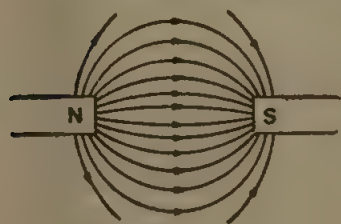


(i) বলরেখাগুলি উত্তর-মেরু হইতে বাহির হইয়া দক্ষিণ-মেরুতে গিয়া শেষ হয়।\*

(ii) ইহাদের আচরণ অনেকটা টান-করা স্থিতিস্থাপক সূতার ন্যায়। ইহাদের দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হইবার প্রবণতা রহিয়াছে। পার্শ্ববর্তী দুইটি বলরেখা উহাদের দৈর্ঘ্যের অভিলম্ব অভিমুখে পরস্পরের উপর চাপ দেয়।

বলরেখার উপরি-উক্ত ধর্ম আছে ধরিয়া লইলে দুইটি বিপরীত মেরুর আকর্ষণ এবং দুইটি সম-মেরুর বিকর্ষণের কারণ সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়।

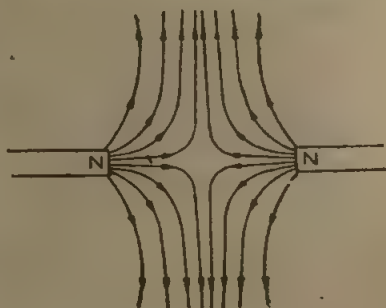
মনে করি, একটি চুম্বকের দক্ষিণ-মেরু S-কে উপর একটি চুম্বকের উত্তর-মেরু N-এর



চিত্র 2.2

মেরুটি উত্তর-মেরুর দিকে এবং উত্তর-মেরুটি দক্ষিণ-মেরুর দিকে আগাইয়া আসিতে চাহিবে। অর্থাৎ, উত্তর-মেরু ও দক্ষিণ মেরু পরস্পরের প্রতি আকর্ষণ অনুভব করিবে।

এইবার মনে করা যাক যে, দুইটি সমশক্তিসম্পন্ন উত্তর মেরু পরস্পরের মুখো-মুখি হইয়াছে। এক্ষেত্রে দুই মেরু হইতে নির্গত বলরেখাগুলি কীরূপ হইবে তাহা 2.3 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। এক্ষেত্রে দুই মেরুর ঠিক মাঝখানে কোন বলরেখা থাকিবে না, কেননা এই বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য শূন্য। এই বিন্দুটিকে উদাসীন বিন্দু (neutral point) বলা



চিত্র 2.3

হয়। উভয় মেরু হইতে নির্গত বলরেখাগুলিই এই বিন্দুর পাশ দিয়া বাঁকিয়া যাইবে।

\* বিশেষ দ্রষ্টব্য : একটি প্রচলিত ভ্রান্ত ধারণা এই যে, দণ্ড-চুম্বকের বলরেখাগুলি বদ্ধ। এ সম্বন্ধে ছাত্র-ছাত্রীদের সতর্ক থাকা প্রয়োজন। ভিড়িং-বাহী তারের চতুর্দিকে যে-বলরেখা দৃশ্য হয় তাহারা বদ্ধ, কিন্তু সাধারণ দণ্ড চুম্বকের বলরেখাগুলি বদ্ধ নয়। চুম্বকের ভিতরে এবং বাহিরে উভয় ক্ষেত্রেই উহাদের অভিন্নমুখ উত্তর হইতে দক্ষিণ দিকে। বলরেখাগুলি নয়, চৌম্বক আবেশ রেখাগুলি বদ্ধ (অনুচ্ছেদ 3.6)।

#### [References :

(1) Magnetism—F. W. Lee, Penguin Books Ltd. (Chapter 4 দ্রষ্টব্য)

(2) Physics—David Halliday and Robert Resnick (Page 846

দ্রষ্টব্য) Combined Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York. ]

ইহাতে দুই মেরুর বলরেখাগুলি প্রায় সমান্তরাল হয়। পাশাপাশি থাকিবে। বলরেখাগুলি উহাদের মৈত্রীর অভিলম্ব বরাবর পরস্পরের উপর বল প্রয়োগ করিবে বলিয়া উভয় মেরুর বলরেখা পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যাইতে চাহিবে। বলরেখার এই ধর্মের ফলেই দুইটি সমসত্ত্ব পরস্পরের কাছাকাছি আসিলে বিকর্ষণ অনুভব করে এবং পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যাইতে চাহে।

(iii) দুইটি বলরেখা কখনই পরস্পরকে ছেদ করে না। বলরেখার সংজ্ঞার মধ্যোই উহার এই ধর্মটি নিহিত আছে। আমরা জানি, চৌম্বক বলরেখার কোন বিন্দুতে স্পর্শক টানিলে ঐ স্পর্শক উক্ত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে।

কোন নির্দিষ্ট বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দিষ্ট বলিয়া একই বিন্দু দিয়া দুইটি বলরেখা যাইতে পারে না। মনে করা যাক, কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের একই বিন্দু  $P$ -তে দুইটি বলরেখা  $C_1$  এবং  $C_2$  পরস্পরকে ছেদ করিয়াছে (চিত্র 2.4)।



চিত্র 2.4

$P$ -বিন্দুতে  $C_1$ -এর উপর  $PT_1$  টানিলে বলরেখার সংজ্ঞানুসারে উহা ঐ বিন্দুতে প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করিবে। অনুরূপভাবে,  $C_2$ -বলরেখাটিও  $P$  বিন্দু দিয়া গিয়াছে বলিয়া  $P$ -বিন্দুতে  $C_2$ -এর উপর অঙ্কিত স্পর্শক  $PT_2$ -ও ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করিবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে দুইটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করিলে ঐ বিন্দুতে প্রাবল্যের দুইটি অভিমুখ থাকিবে। কিন্তু চৌম্বক ক্ষেত্রের একই বিন্দুতে প্রাবল্যের অভিমুখ কখনই একাধিক হইতে পারে না। কাজেই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, দুইটি বলরেখা কখনই পরস্পরকে ছেদ করিতে পারে না।

(iv) যে-বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বত বেশি সেই বিন্দুতে বলরেখার অভিলম্বের অবস্থিত প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া নিষ্কাশিত বলরেখার সংখ্যা তত বেশি। অর্থাৎ, যেখানে বলরেখা ঘন সন্নিবিষ্ট সেখানে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বেশি।

ধরিয়া লওয়া হয় যে, চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য যে-বিন্দুতে একক সেই বিন্দুতে বলরেখার অভিলম্বভাবে স্থাপিত তলের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া একটি মাত্র বলরেখা নিষ্কাশিত হয়। সুতরাং, কোন বিন্দুতে বলরেখার অভিলম্বের অবস্থিত প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া বতগুলি বলরেখা নিষ্কাশিত হয় উক্ত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মানও তাহাই।

## 2.6 বলরেখার মানচিত্র অঙ্কন

দুইটি সহজ পদ্ধতিতে চৌম্বক বলরেখার মানচিত্র অঙ্কন করা যায়—(i) লৌহ-চূর্ণের সাহায্যে এবং (ii) সূচী-চুম্বকের সাহায্যে। উভয় পদ্ধতিই নিম্নোক্ত নীতিতে কাজ করে—

একটি সম-প্রাবল্যাবিশিষ্ট ক্ষেত্রে (uniform magnetic field) একটি চুম্বক সর্বদা উহার চৌম্বক-অক্ষকে চৌম্বক বলরেখার সমান্তরালভাবে স্থাপন করিতে চায়। সকল চৌম্বক ক্ষেত্র সম-প্রাবল্যাবিশিষ্ট না হইলেও কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের অতি ক্ষুদ্র অঞ্চলকে সম-প্রাবল্যাবিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র মনে করা যাইতে পারে। কাজেই, একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের

যে-কোন স্থানে স্থাপিত একটি ক্ষুদ্র চুম্বক-শলাকা সম-প্রাবল্যাসম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রে রহিয়াছে এইরূপ ধরিয়া লওয়া যায়। সুতরাং ইহা নিজেকে ঐ স্থানের চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে স্থাপন করিবে। বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে চুম্বক-শলাকার অভিমুখও বদলাইবে।

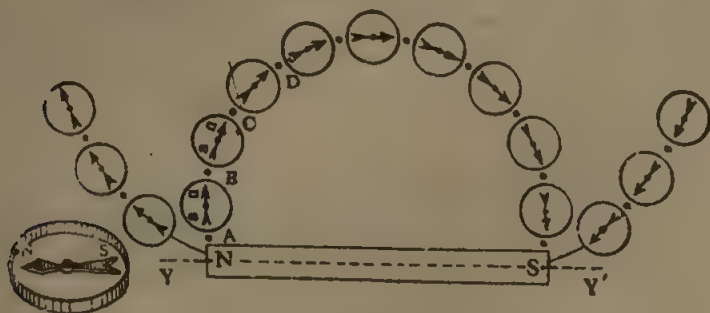
(i) লৌহচূর্ণের সাহায্যে বলরেখা অঙ্কন : একটি পাতলা কাচের প্লেটের উপর একখণ্ড সাদা কাগজ আঁটিয়া দেওয়া হইল। একটি শক্তিশালী চুম্বকের উপর এই কাচের প্লেটটিকে রাখিয়া উহার উপর কিছু লৌহচূর্ণ ছড়াইয়া দেওয়া হইল। লৌহচূর্ণগুলি চুম্বকের



চিত্র 2.5

নিকট থাকায় আবেশের ফলে উহারা চুম্বকে পরিণত হইবে এবং উহারা যে-বিন্দুতে অবস্থিত সেই বিন্দুতে নিজেদের চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে স্থাপন করিতে চাহিবে। কাচের প্লেটে আস্তে আস্তে টোকা দিলে দেখা যাইবে যে, লৌহচূর্ণগুলি শ্রেণীবদ্ধভাবে সজ্জিত হইয়া বলরেখার প্রকৃতি নির্দেশ করিতেছে (চিত্র 2.5)।

(ii) সূচী চুম্বকের সাহায্যে বলরেখা অঙ্কন : চারিটি বোর্ডপিনের সাহায্যে একটি কাগজকে একটি ড্রয়িং-বোর্ডের উপর আটকাইয়া দেওয়া হইল। কাগজটির মাঝখানে একটি চুম্বক স্থাপন করিয়া পেন্সিলের সাহায্যে ইহার সীমারেখা চিহ্নিত করা হইল। একটি সূচী-চুম্বককে দণ্ড-চুম্বকটির উত্তর-মেরুর সম্মুখে রাখা হইল। সূচী-



চিত্র 2.6

চুম্বকটি সামো আসিবার পর উহার দক্ষিণ ও উত্তর মেরুর অবস্থানকে দুইটি বিন্দুর দ্বারা চিহ্নিত করা হইল। মনে করি, এই বিন্দু দুইটি যথাক্রমে A এবং B (চিত্র 2.6)।

এইবার সূচী-চুম্বকটিকে পূর্বের অবস্থান হইতে সরাইয়া ঐ অবস্থানেরই পাশে এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে সাম্যাবস্থায় উহার দক্ষিণ-মেরুটি B বিন্দুর উপর থাকে। এই অবস্থায় সূচী-চুম্বকের উত্তর মেরুর অবস্থানকে একটি বিন্দু (C) দ্বারা চিহ্নিত করা হইল। এইরূপভাবে সূচী-চুম্বকটিকে এক অবস্থান হইতে উহার পার্শ্ববর্তী অবস্থানে লইয়া গিয়া প্রতি ক্ষেত্রে উহার মেরুদ্বয়ের অবস্থান চিহ্নিত করা হইল। এই বিন্দুগুলির সংযোজী রেখাটি একটি বলরেখা নির্দেশ করিবে। এইভাবে চৌম্বক ক্ষেত্রের বিভিন্ন স্থান হইতে সূচী-চুম্বক সরাইতে আরম্ভ করিয়া বিভিন্ন বলরেখা টানা যায়।

## 2.7 একটি দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক (Magnetic moment of magnet)

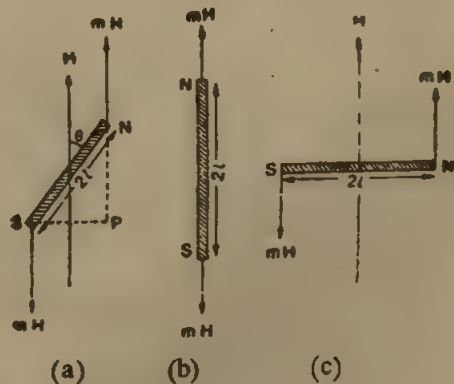
2l চৌম্বক-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এবং m মেরুশক্তিসম্পন্ন কোন চুম্বকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখের সহিত  $\theta$  কোণে স্থাপন করা হইলে ইহার উপর একটি দ্বন্দ্ব (couple) ক্রিয়া করিবে, কেননা, এই সময় প্রতিটি মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বলের মান  $mH$  dynes [ চিত্র 2.7 (a) ]। অর্থাৎ, দুই মেরুতে ক্রিয়াশীল বল পরস্পর সমান ও বিপরীতমুখী। এই দ্বন্দ্বের ভ্রামক

$$=mH \times SP = mH \times 2l \sin \theta$$

যতক্ষণ পর্যন্ত না এই দ্বন্দ্বের ভ্রামকের মান শূন্য হইবে মুক্ত অবস্থায় ঝুলাইয়া রাখিলে ততক্ষণ চুম্বকটি এই ভ্রামকের ক্রিয়ায় ঘুরিতে থাকিবে। এই দ্বন্দ্বের ভ্রামকের মান শূন্য হইবে যখন  $\sin \theta = 0$  বা,  $\theta = 0$  অর্থাৎ যখন চুম্বকটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল [ চিত্র 2.7 (b) ]। 2.7 (c) নং চিত্রে চুম্বকটিকে চৌম্বক ক্ষেত্র H-এর সহিত লম্বভাবে স্থাপিত দেখান হইয়াছে। এই অবস্থায় চুম্বকের উপর ক্রিয়াশীল ভ্রামক  $=mH \times 2l$ । ইহার ক্রিয়ায় চুম্বকটি ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘুরিয়া যাইতে চায়। সুতরাং, চুম্বকটিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সহিত লম্বভাবে সাম্যে রাখিতে হইলে উহার উপর  $mH \times 2l$  মানের কোন দক্ষিণাবর্তী (clockwise) বাহ্যিক ভ্রামক প্রয়োগ করিতে হইবে।

এক ওয়রস্টেড প্রাবল্যসম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রে এই দ্বন্দ্বের মান  $= 2ml$ । একটি চুম্বককে একক প্রাবল্যবিশিষ্ট কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সহিত লম্বভাবে ধরিয়া রাখিতে হইলে উহার উপর যে-দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করিতে হয় তাহাকে চুম্বকটির চৌম্বক ভ্রামক বলা হয়।

∴  $M = 2ml$ , এখানে M হইল চুম্বকটির চৌম্বক ভ্রামক।

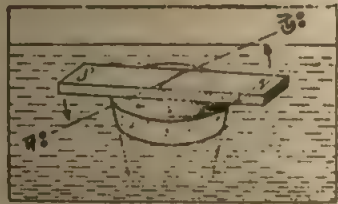


চিত্র 2.7



## 2.8 চুম্বকের দুই মেরু সমান শক্তিশালী

একটি দণ্ড-চুম্বকে একটি কর্কের উপর রাখিয়া জলে ভাসাইয়া দেওয়া হইল (চিত্র 2.8)। কর্ক-সম্মত চুম্বকটি উত্তর-দক্ষিণমুখী হইয়া সাম্যে আসিবে। চুম্বকটিকে একটু নাড়াইয়া দিলে দেখা যাইবে যে, কয়েকটি কোণিক দোলনের পর উহা পুনরায় উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া স্থির ভাবে দাঁড়াইয়াছে। উত্তর বা দক্ষিণে সরিয়া না গিয়া কোণিক দোলন সম্পাদন করিবার অর্থ এই যে, চুম্বকটির উপর কোন লব্ধি বল ক্রিয়া করিতেছে না। চুম্বকের উপর কোন লব্ধি বল ক্রিয়া করিলে চুম্বকটি কর্কসম্মত ঐ বলের অভিমুখে সরিয়া যাইত।



চিত্র 2.8

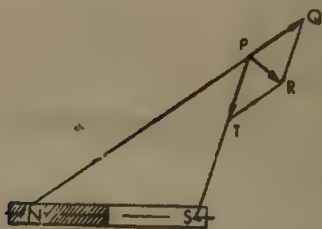
মনে করি, স্থানীয় ভৌমচৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান  $H$  এবং চুম্বক-মেরুদ্বয়ের মেরুশক্তি  $m$  এবং  $m'$ । সাম্যাবস্থায় চুম্বকের উপর কোন চলন-সৃষ্টিকারী বল (translatory force) ক্রিয়া করে না বলিয়া লেখা যায়,

$$mH + m'H = 0 \quad \text{বা,} \quad m' = -m$$

অর্থাৎ, চুম্বকের মেরুদ্বয় পরস্পর সমান ও বিপরীতধর্মী।

## 2.9 একটি দণ্ড-চুম্বকের নিকটবর্তী কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয়

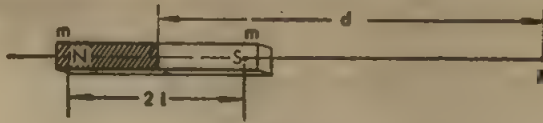
জ্যামিতিক পদ্ধতিতে একটি চুম্বকের নিকটবর্তী কোন স্থানের প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ নির্ণয় করা যায়। 2.9 নং চিত্রে NS একটি দণ্ড-চুম্বক। ইহার চৌম্বক দৈর্ঘ্য  $2l$  এবং মেরুশক্তি  $m$ । P-বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করিতে হইবে। P বিন্দুতে PQ রেখাটি কোন নির্দিষ্ট ক্ষেত্রে  $m/NP^2$  বল নির্দেশ করিতেছে। PT রেখাটি একই ক্ষেত্রে  $m/SP^2$  বল নির্দেশ করিতেছে। PQ এবং PT-কে সমাপ্তি বাহু ধরিয়া একটি সামান্তরিক PQRT অঙ্কন করা হইল। এই সামান্তরিকের কর্ণ PR-ই উক্ত ক্ষেত্রে P-বিন্দুর প্রাবল্যের মান নির্দেশ করিবে। PR রেখাটির অভিমুখই উক্ত বিন্দুতে প্রাবল্যের অভিমুখ।



চিত্র 2.9

(i) প্রান্তমুখী অবস্থান (End-on position): মনে করি, NS চুম্বকটির অক্ষের উপর উহার কেন্দ্র হইতে  $d$  দূরত্বে অবস্থিত কোন বিন্দু A-তে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান নির্ণয় করিতে হইবে (চিত্র 2.10)। ধরা যাক, চুম্বকটির চৌম্বক দৈর্ঘ্য  $2l$  এবং মেরুদ্বয়ের প্রতিটির মেরুশক্তি  $m$ । A-বিন্দুতে রক্ষিত কোন কাম্পনিক: উত্তর-

মেরু চুম্বকটির উত্তর-মেরুর দ্বারা যে-বলে বিকর্ষিত হয় তাহার মান  $m/(d+l)^2$  এবং দক্ষিণ-মেরুর দ্বারা যে-বলে আকর্ষিত হয় তাহার মান  $m/(d-l)^2$ ; সুতরাং, A-বিন্দুতে অবস্থিত একক উত্তর-মেরুর উপর ক্রিয়াশীল মোট বল,



চিত্র 2.10

$$F = \frac{m}{(d-l)^2} - \frac{m}{(d+l)^2} = \frac{m(d+l)^2 - m(d-l)^2}{(d-l)^2 (d+l)^2} = \frac{4mld}{(d^2 - l^2)^2}$$

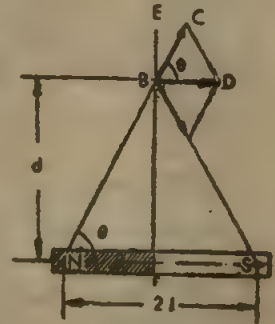
এখন, দণ্ড-চুম্বকটির চৌম্বক দ্ব্যমক,  $M=2ml$

$$\therefore F = \frac{2Md}{(d^2 - l^2)^2}$$

যদি  $d$  দূরত্বের তুলনায় চুম্বকটির চৌম্বক দৈর্ঘ্য খুব ছোট হয় তাহা হইলে  $l^2$  উপেক্ষা করিয়া লেখা যায়,

$$F = \frac{2Md}{d^4} = \frac{2M}{d^3}$$

(ii) চুম্বকের প্রস্থমুখী অবস্থান (Broadside-on position): কোন দণ্ড-চুম্বকের মধ্যবিন্দু দিয়া ইহার অক্ষের সহিত লম্বভাবে আঁকিত রেখার উপর অবস্থিত কোন বিন্দু B-তে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করিতে হইবে। চুম্বকের মধ্যবিন্দু হইতে ঐ বিন্দু দূরত্ব  $d$  এবং চুম্বকটির চৌম্বক দৈর্ঘ্য ও মেরুশক্তি যথাক্রমে  $2l$  এবং  $m$  (চিত্র 2.11)।



চিত্র 2.11

B বিন্দুতে রক্ষিত কোন কাম্পনিক একক উত্তর-মেরুর উপর চুম্বকের N-মেরু যে-বল প্রয়োগ করিবে তাহার মান  $m/BN^2$  এবং অভিমুখ BC-এর দিকে।

অনুরূপভাবে, B বিন্দুতে রক্ষিত কাম্পনিক উত্তর-মেরুর উপর চুম্বকের S-মেরু যে-বল প্রয়োগ করিবে তাহার মান  $m/BS^2$  এবং ইহার অভিমুখ BS-এর দিকে।

$$\text{আমরা জানি, } BN=BS = \sqrt{d^2 + l^2}$$

$$\therefore \frac{m}{BN^2} = \frac{m}{BS^2} = \frac{m}{(d^2 + l^2)}$$

এখন,  $m/BN^2$ -বলটিকে দুইটি উপাংশে ভাগ করা যায়—

(i) BE অভিমুখে  $\frac{m \sin \theta}{d^2 + l^2}$  এবং (ii) চুম্বকের সমান্তরাল BD রেখার অভিমুখে

$$\frac{m \cos \theta}{d^2 + l^2}$$

অনুরূপভাবে,  $m/BS^2$  বলটিকেও নিজের দুইটি উপাংশে ভাগ করা যায়—(i) BF অভিমুখে  $\frac{m \sin \theta}{d^2 + l^2}$  এবং (ii) BD অভিমুখে  $\frac{m \cos \theta}{d^2 + l^2}$

চুম্বকের দৈর্ঘ্যের অভিলম্ব অভিমুখে ক্রিয়াশীল উপাংশ দুইটি পরস্পর সমান ও বিপরীতমুখী বলিয়া ইহারা পরস্পরকে নাকচ করিয়া দেয়। সুতরাং, B বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,  $F = \frac{2m \cos \theta}{d^2 + l^2}$ , ইহা BD অভিমুখে ক্রিয়াশীল।

$$\text{কিন্তু, আমরা জানি, } \cos \theta = \frac{l}{\sqrt{d^2 + l^2}}$$

$$\therefore \text{ B বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য, } F = \frac{2ml}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{M}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

ইহার ক্রিয়াভিমুখ দণ্ড-চুম্বকটির চৌম্বক অক্ষের সমান্তরাল। চুম্বকটির চৌম্বক দৈর্ঘ্যের তুলনায়  $d$ -এর মান অনেক বেশি হইলে  $d^2$ -এর সাপেক্ষে  $l^2$ -কে উপেক্ষণীয় মনে করা যায়। এক্ষেত্রে B বিন্দুতে চৌম্বক কেন্দ্রের প্রাবল্য

$$F = M/d^3$$

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণবলী •

**উদাহরণ 2.1** দুইটি উত্তর মেয়ুর মেয়ুশক্তি যথাক্রমে 40 unit এবং 10 unit। শূন্যস্থানে উহারা পরস্পর হইতে 10 cm দূরে অবস্থিত হইলে উহাদের পারস্পরিক বিকর্ষণ বলের মান নির্ণয় কর।

$$\text{সমাধান : আমরা জানি, } F = \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ (শূন্যস্থানে)}$$

$$\text{এক্ষেত্রে, } m_1 = 40 \text{ unit, } m_2 = 10 \text{ unit}$$

$$\text{এবং } r = 10 \text{ cm} \quad \therefore F = \frac{40 \times 10}{10^2} = 4 \text{ dyn}$$

**উদাহরণ 2.2** 16 এবং 25 সি. জি. এস. একক মেয়ুশক্তিসম্পন্ন দুইটি মেয়ু পরস্পর হইতে 9 cm দূরে অবস্থিত। উহাদের সংযোজী সরলরেখায় কোন্ স্থানে প্রাবল্য শূন্য হইবে? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ; উচ্চ মাধ্যমিক (বিপদ্রা), 1980]

**সমাধান :** মনে করি, 16 একক মেয়ুসম্পন্ন চৌম্বক মেয়ু হইতে  $x$  cm দূরে চৌম্বক কেন্দ্রের প্রাবল্যের মান শূন্য। প্রশ্নের শর্তানুসারে,

$$\frac{16}{x^2} = \frac{25}{(9-x)^2} \quad \text{বা, } \frac{(9-x)^2}{x^2} = \frac{25}{16}$$

$$\text{বা, } \frac{9-x}{x} = \frac{5}{4} \quad \text{বা, } x = 4 \text{ cm}$$

অর্থাৎ, 16 একক মেয়ুশক্তিসম্পন্ন মেয়ু হইতে 4 cm দূরে চৌম্বক কেন্দ্রের প্রাবল্যের মান শূন্য হইবে।

**উদাহরণ 2.3** বায়ুতে দুইটি উত্তর-মেয়ুর দূরত্ব যখন 2 cm তখন উহাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল

বিকর্ষণ বলের মান 15 dyn। দূরত্ব কত হইলে উহাদের পারস্পরিক বিকর্ষণের মান 7.5 dyn হইবে? মেরুদ্বয়ের দূরত্ব 5 cm হইলে ঐ বিকর্ষণ বলের মান কত হইবে?

সমাধান : বাস্তুতে  $\mu = 1$  বলিয়া লেখা যায়,  $F = \frac{m_1 m_2}{r^2}$

প্রথম ক্ষেত্রে  $F = 15$  dyn এবং  $r = 2$  cm

$$\therefore 15 = \frac{m_1 m_2}{2^2} \therefore m_1 m_2 = 60$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,  $F = 7.5$  dyn ;  $\therefore 7.5 = \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{60}{r^2}$

$$\therefore r^2 = \frac{60}{7.5} = 8 \quad \therefore r = 2\sqrt{2} = 2.828 \text{ cm}$$

তৃতীয় ক্ষেত্রে,  $d = 5$  cm ;  $\therefore F = \frac{m_1 m_2}{5^2} = \frac{60}{25} = 2.4$  dyn

**উদাহরণ 2.4** কোন চুম্বক-মেরুকে 1 ওয়বস্টেড প্রাবল্যাসম্পন্ন কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করিলে উহার উপর যে-বল ক্রিয়া করে, ঐ মেরুটিকে অপর একটি অজানা মেরু হইতে 20 cm দূরে রাখিলে উহার উপর একই বল ক্রিয়া করে। অজানা মেরুটির মেরুশক্তি নির্ণয় কর।

সমাধান : মনে করি, প্রথম মেরুটির মেরুশক্তি  $= m_1$  e. m. u.

কাজেই, 1 oersted ক্ষমতাসম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করিলে উহার উপর ক্রিয়াশীল বল হইবে

$$F_1 = m_1 H = m_1 \times 1 = m_1 \text{ dyn} \quad \dots (i)$$

এইবার ধরা যাক যে, অজানা মেরুটির মেরুশক্তি  $= m_2$  e. m. u.

কাজেই, প্রথম মেরুটিকে অজানা মেরুটি হইতে 20 cm দূরে রাখিলে উহার উপর যে-বল ক্রিয়া করিবে উহার মান

$$F_2 = \frac{m_1 m_2}{20^2} = \frac{m_1 m_2}{400} \text{ dyn} \quad \dots (ii)$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $F_1 = F_2$

$$\text{বা, } m_1 = \frac{m_1 m_2}{400} \quad [ \text{সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে} ]$$

$$\text{বা, } m_2 = 400 \text{ e. m. u.}$$

**উদাহরণ 2.5** 5 cm দূরে অবস্থিত দুইটি চুম্বক-মেরুর পারস্পরিক বিকর্ষণ বল 20 dyn। উহাদের দূরত্ব (i) বাড়াইয়া 6 cm করিলে, (ii) 6 cm বৃদ্ধি করিলে মেরুদ্বয়ের পারস্পরিক বিকর্ষণ বলের মান কত হইবে?

সমাধান : ধরি, মেরুদ্বয়ের মেরুশক্তি  $m_1$  এবং  $m_2$  ; উহাদের দূরত্ব যখন 5 cm তখন

উহাদের পারস্পরিক বিকর্ষণ বল,  $F = \frac{m_1 m_2}{5^2} = 20$  dyn

$$\therefore m_1 m_2 = 25 \times 20 = 500$$

(i) দূরত্ব বাড়াইয়া 6 cm করিলে বিকর্ষণ বল হইবে

$$F = \frac{m_1 m_2}{6^2} = \frac{500}{36} = 13.9 \text{ dyn}$$



(ii) দূরত্ব 6 cm বৃদ্ধি করিলে বিকর্ষণ বল হইবে

$$F = \frac{m_1 m_2}{(5+6)^2} = \frac{500}{121} = 4.13 \text{ dyn}$$

উদাহরণ 2.6 দুইটি চুম্বক-মেরুর মধ্যে একটি অপরটি অপেক্ষা 5 গুণ বেশি শক্তিশালী। ইহাদিগকে বায়ুতে 10 cm ব্যবধানে রাখিলে ইহারা একে অন্যের উপর 80 মিলিগ্রাম ভরবিশিষ্ট বস্তুর ওজনের সমান বল প্রয়োগ করে। মেরু দুইটির উভয়ের মেরুশক্তি নির্ণয় কর।

[ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাডমিশন টেস্ট, 1965]

সমাধান : মনে কর, প্রথম মেরুটির মেরুশক্তি =  $m$  একক এবং দ্বিতীয় মেরুটির মেরুশক্তি =  $5m$  একক

প্রদত্ত শর্তানুসারে,

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ — এই সমীকরণ হইতে লেখা যায়,}$$

$$\frac{m \times 5m}{10^2} \text{ dyn} = 80 \text{ mg-wt}$$

$$\text{বা, } \frac{5m^2}{100} = 80 \times 10^{-3} \times 980$$

$$\text{বা, } m^2 = 20 \times 80 \times 10^{-3} \times 980$$

$$\text{বা, } m^2 = 16 \times 98$$

$$\text{বা, } m = 39.6 \text{ একক}$$

সুতরাং, একটি মেরুর মেরুশক্তি 39.6 একক এবং অপরটির মেরুশক্তি  $5 \times 39.6$  বা 198 একক।

উদাহরণ 2.7 একটি দণ্ড-চুম্বকের দৈর্ঘ্য 10 cm এবং ইহার মেরুশক্তি 20 units; ইহাকে 0.25 oersted প্রাবল্যবিশিষ্ট একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে কুলাইরা দেওয়া হইল। চুম্বকটিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখের সহিত  $30^\circ$  কোণে রাখিলে উহার উপর ক্রিয়াশীল ভ্রামকের মান কত হইবে?



সমাধান : 2.12 নং চিত্রানুসারে, চুম্বকটির উপর ক্রিয়াশীল ভ্রামক,

$$\tau = mH \times SP = mH \times 2l \sin \theta = MH \sin \theta$$

$$\text{চুম্বকটির চৌম্বক ভ্রামক, } M = m \times 2l = 20 \times 10 = 200 \text{ units}$$

$$H = 0.25 \text{ oersted, } \theta = 30^\circ$$

$$\tau = MH \sin \theta = 200 \times 0.25 \times \sin 30^\circ = 25 \text{ dyn-cm}$$

উদাহরণ 2.8 0.36 oersted অনুভূমিক প্রাবল্যবিশিষ্ট কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে চৌম্বক মধ্যতলের সহিত  $30^\circ$  কোণ করিয়া কোন চুম্বক রাখিতে যে-বস্তুর প্রয়োজন হয় তাহার ভ্রামক 2870 dyn-cm। চুম্বকটির চৌম্বক ভ্রামক নির্ণয় কর।

চিত্র 2.12

সমাধান : বস্তুর ভ্রামক =  $MH \sin \theta$

এখানে  $M$  = নির্ণয় চৌম্বক ভ্রামক,  $H = 0.36 \text{ oersted}$  এবং  $\theta = 30^\circ$

$$\therefore 2870 = M \times 0.36 \times \sin 30^\circ$$

$$\therefore M = \frac{2870}{0.36 \times 0.5} = 15944 \text{ units}$$

মাত্রা-সংক্ষেপ

কোন মাধ্যমে  $m_1$  এবং  $m_2$  মেরুশক্তিসম্পন্ন দুইটি চুম্বক-মেরুকে পরস্পর হইতে দূরত্বে স্থাপন করিলে উহাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2}$$

এখানে  $\mu$  হইল মাধ্যমের 'চৌম্বক ভেদ্যতা'। শূন্য মাধ্যমে  $\mu$ -এর মান 1, বায়ুতেও ইহার মান কার্যত 1 হয়।

সমান মেরুশক্তিসম্পন্ন দুইটি সমধর্মী চুম্বক-মেরুকে শূন্যস্থানে 1 cm ব্যবধানে রাখিলে যদি উহাদের পারস্পরিক বিকর্ষণ বলের মান 1 ডাইন হয় তাহা হইলে ঐ মেরুদ্বয়ের প্রতিটিকে একক চুম্বক মেরু বলা হয়।

চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে একটি একক উত্তর-মেরু রাখিলে উহার উপর যে-বল ক্রিয়া করে তাহাকে ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলা হয়।  $m$  মেরুশক্তিসম্পন্ন চুম্বক-মেরু হইতে  $r$  দূরত্বে কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য

$$H = \frac{m}{\mu r^2} \vec{n}$$

এখানে  $n$  হইল আলোচ্য চুম্বক-মেরু হইতে আলোচ্য বিন্দুর অভিমুখে ক্রিয়াশীল একক ভেক্টর।

কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে একক মেরু রাখিলে যদি উহার উপর 1 ডাইন বল ক্রিয়া করে, তবে ঐ বিন্দুর প্রাবল্যকে বলা হয় 1 ওয়বস্টেড। কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য  $H$  ওয়বস্টেড হইলে ঐ বিন্দুতে রাখিত  $m$  মেরুশক্তিসম্পন্ন চুম্বক-মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বল হইবে  $mH$  ডাইন। অর্থাৎ,

কোন মেরুর উপর প্রযুক্ত বল = মেরুশক্তি  $\times$  চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য

কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন বামাহীন চৌম্বক উত্তর-মেরু উহার পথের প্রতিটি বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্যের অভিমুখে বিনা দ্বরণে চালিতে পারিলে উহা যে-পথে চালিত তাহাকে চৌম্বক বলরেখা বলা হয়।

ভাষান্তরে, চৌম্বক ক্ষেত্রে যে-রেখার যে-কোন বিন্দুতে আঁকিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে তাহাকে চৌম্বক বলরেখা বলা হয়। বলরেখার নিম্নোক্ত ধর্মাবলী উল্লেখযোগ্য :

- বলরেখাগুলি উত্তর-মেরু হইতে বাহির হইয়া দক্ষিণ মেরুতে গিয়া শেষ হয়।
- ইহাদের আচরণ অনেকটা টান-করা স্থিতিস্থাপক সূতার অনুরূপ।
- দুইটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করে না।
- যে-স্থানে চৌম্বক বলরেখা যত বেশি ঘন সম্ভবক সেই স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য তত বেশি।

একটি চুম্বককে একক প্রাবল্যাবিশিষ্ট কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সহিত লম্বভাবে ধরিয়া রাখিতে হইলে উহার উপর যে-বল প্রয়োগ করিতে হয় তাহাকে চুম্বকটির

চৌম্বক ভ্রামক বলা হয়। কোন চুম্বকের দৈর্ঘ্য  $2l$  হইলে এবং প্রতিটি মেরুর মেরু-শক্তি  $m$  হইলে, ঐ চুম্বকের ভ্রামক,  $M = m \times 2l$

কোন দণ্ড-চুম্বকের প্রান্তমুখী অবস্থানে কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান,

$$F = \frac{2Md}{(d^2 - l^2)^2}$$

এখানে  $d$  হইল চুম্বকটির মধ্যবিন্দু হইতে আলোচ্য বিন্দুর দূরত্ব এবং  $l$  হইল চুম্বকটির চৌম্বক দৈর্ঘ্যের অর্ধেক।

কোন দণ্ড চুম্বকের প্রান্তমুখী অবস্থানে কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান,

$$F = \frac{M}{(d^2 + l^2)^{3/2}}$$

## প্রশ্নাবলী 2

### হুম্বোডার প্রশ্নাবলী

1. 'দুইটি চৌম্বক বলরেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করিতে পারে না।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

2. একটি চুম্বকের দুই মেরুর মেরুশক্তি সমান ইহা কীভাবে প্রমাণ করিবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

3. একটি কর্কের উপর একটি চুম্বক-শলাকা স্থাপন করিয়া উহাকে জলে ভাসাইয়া দিলে উহা কীভাবে আচরণ করিবে? চুম্বক-শলাকাটিকে একটি সমপ্রাবল্যাবিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে উহা কি উত্তর দিকে বা দক্ষিণ দিকে চলিতে থাকিবে?

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1973]

4. চৌম্বক মধ্যরেখা বরাবর (i) উত্তর-মেরু উত্তরমুখী এবং (ii) দক্ষিণ-মেরু উত্তরমুখী অবস্থায় স্থাপিত দণ্ড-চুম্বকের চারিপাশের বলরেখাগুলি অঙ্কন কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1979]

5. এক দণ্ড-চুম্বকের উত্তর-মেরু উত্তর দিকে থাকিলে উদাসীন বিন্দু ঐ চুম্বকের লম্ব-বিশিষ্ট রেখার উপর অবস্থিত হয়, অন্যত্র হয় না। ইহার কারণ কী?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]

6. একটি চুম্বকের দুইটি মেরুর শক্তি সমান, তাহা কীভাবে দেখাইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

7. চৌম্বক ক্ষেত্র কাহাকে বলে? চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলিতে কী বুঝ? ইহার একক কী?

8. শূন্যস্থানে অবস্থিত দুইটি চৌম্বক মেরুর মধ্যে ক্রিয়াশীল বল-সম্পর্কিত কুলম্ব-এর সূত্র বিবৃত কর। চৌম্বক মাধ্যমের অবস্থিতিতে এই বল কীভাবে প্রভাবিত হয়?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

৯. (a) দুইটি চৌম্বক মেবুর পারস্পরিক বল সম্বন্ধীয় কুলম্বের সূত্রটি বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর। ইহা হইতে চুম্বকের একক মেবুর সংজ্ঞা দাও। (b) 'ওয়েবস্টার' এককের সংজ্ঞা লিখ। (c) একটি চুম্বকের দুই মেবুর শক্তি সমান তাহা পরীক্ষার সাহায্যে কীভাবে প্রমাণ করা যায় ? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

10. সংজ্ঞা দাও : একক চৌম্বক মেবু, চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982]

11. চৌম্বক বলরেখা কাহাকে বলে ? বলরেখার ধর্মগুলি আলোচনা কর। পরীক্ষার সাহায্যে বলরেখা অঙ্কন করিবার পদ্ধতি আলোচনা কর।

12. চৌম্বক বলরেখা কাহাকে বলে ? চৌম্বক বল-সংক্রান্ত কুলম্বের সূত্রটি বিবৃত কর, এবং উহার সাহায্যে একক চৌম্বক মেবুর সংজ্ঞা দাও। চৌম্বক প্রাবল্য বলিতে কী বুঝায় ? 'কোন বস্তুর চৌম্বক অবস্থা পরীক্ষা করিবার জন্য আকর্ষণ অপেক্ষা বিকর্ষণ অধিকতর নির্ভরযোগ্য'—ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1976]

13. (a) চৌম্বক ক্ষেত্র এবং একক চৌম্বক মেবুর সংজ্ঞা দাও। (b) দণ্ড-চুম্বকের অক বরাবর কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978]

14. চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কাহাকে বলে ? একটি চুম্বকের প্রান্তমুখী অবস্থানে কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

15. জ্যামিতিক পদ্ধতিতে চুম্বকের নিকটস্থ কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করা যায় কীভাবে ? একটি চুম্বকের প্রান্তমুখী অবস্থানে কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

16. সমপ্রাবল্যাসম্পন্ন একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চুম্বককে কুলাইয়া দিলে উহার উপর যে-বল ক্রিয়া করিবে তাহার মান কত ? ইহা হইতে চৌম্বক-দ্রামক-এর সংজ্ঞা দাও।

17. (a) কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সংজ্ঞা দাও। (b) চৌম্বক বলরেখা কাহাকে বলে এবং উহাদের বৈশিষ্ট্য কী ? (c) উদাসীন বিন্দুর সংজ্ঞা দাও। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]

### পাণ্ডিতিক প্রশ্নাবলী

18. 100 একক মেবুশক্তিসম্পন্ন একটি চুম্বক হইতে 5 cm দূরে কোন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982] [4 Qc]

19. একক মেবুশক্তিসম্পন্ন একটি চুম্বক-মেবু এবং বায়ুতে উহা হইতে 6 cm দূরে অবস্থিত তিনগুণ মেবুশক্তিসম্পন্ন অপর একটি মেবুর মধ্যে ত্রিমাণীল বল এবং একক মেবুশক্তিসম্পন্ন একটি চুম্বক-মেবু এবং বায়ুতে উহা হইতে 4 cm দূরে অবস্থিত অপর একটি চুম্বক-মেবুর মধ্যে ত্রিমাণীল বলের অনুপাত নির্ণয় কর। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978] [1 : 3]

20. দুইটি চুম্বক-মেবুর মধ্যের দূরত্ব 10 cm ; একটির মেবুশক্তি অপরটির পাঁচগুণ। বায়ুতে উহাদের মধ্যে কার্যকর বলের মান 80 ডাইন। মেবুশক্তির মেবুশক্তির মান নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986] [40 একক, 160 একক]

21. 4 cm দূরে অবস্থিত দুইটি চুম্বক-মেবুর পারস্পরিক বিকর্ষণ বল  $\frac{3}{4}$  dyn, ইহাদের মেবুশক্তির অন্তর 3 units হইলে মেবুশক্তির মেবুশক্তির মান কত ?

[7 এবং 4 units বা, -7 এবং -4 units]



22. একটি দণ্ড-চুম্বকের দৈর্ঘ্য 20 cm এবং ইহার মেরুশক্তি 10 units। ইহাকে 0.25 oersted প্রাবল্যাবিশিষ্ট একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে ঝুলাইয়া দেওয়া হইয়াছে। চুম্বকটিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখের সহিত লম্বভাবে রাখিতে হইলে উহার উপর ক্রিয়াশীল ড্রামকের মান কত হইবে? [50 dyn-cm]

23. দুইটি চুম্বক-মেরুর দূরত্ব 10 cm। ইহারা পরস্পরের উপর 800 mgm-wt বল প্রয়োগ করিতেছে। একটির মেরুশক্তি অপরটির পাঁচগুণ হইলে চুম্বক-মেরুদ্বয়ের মেরুশক্তির মান নির্ণয় কর। [125.5 units, 627.5 units]

24. 8 cm দৈর্ঘ্যাবিশিষ্ট একটি চুম্বক 0.18 oersted প্রাবল্যাবিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থান করিতেছে। চুম্বকটির প্রতিটি মেরুশক্তি 5 unit। চুম্বকটিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ হইতে  $30^\circ$  বিক্ষিপ্ত করিলে ইহার উপর ক্রিয়াশীল বস্তুর ড্রামকের মান কত হইবে?

[3.6 dyn-cm]

25. 10 cm দীর্ঘ একটি দণ্ড-চুম্বকের উভয় মেরুর মেরুশক্তি 5 units। চুম্বকটির অক্ষ 0.36 oersted প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রের সহিত সমকোণে স্থাপিত করিলে ইহার উপর ক্রিয়াশীল ড্রামকের মান কত হইবে?

[18 dyn-cm]

26. দুইটি সম-চুম্বকধর্মী মেরুর মেরুশক্তির অনুপাত 9 : 1 এবং উহাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 12 cm। মেরু দুইটির মধ্যে কোন্ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য শূন্য হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

[অপেক্ষাকৃত শক্তিশালী মেরু হইতে 9 cm দূরে]

27. যদি কোন চুম্বকের দুই মেরুর দূরত্ব 10 cm হয় এবং উহার চৌম্বক ড্রামক 2000 units হয়, তাহা হইলে উহার মধ্যবিন্দু হইতে চুম্বকটির অক্ষ বরাবর 15 cm দূরত্বে স্থাপিত 150 একক মেরুশক্তিসম্পন্ন চুম্বক-মেরুর উপর চুম্বকটি কী বল প্রয়োগ করিবে? [225 dyn]

28. একটি দণ্ড-চুম্বকের দৈর্ঘ্য 12 cm এবং ইহার প্রতিটি মেরুর মেরুশক্তি 30 e.m.u.। চুম্বকের মধ্যবিন্দু দিয়া উহার অক্ষের সহিত লম্বভাবে অঙ্কিত রেখার উপর অবস্থিত A বিন্দুতে রক্ষিত একক উত্তর-মেরুর উপর কী পরিমাণ বল ক্রিয়া করিবে? চুম্বকের মধ্যবিন্দু হইতে A বিন্দুর দূরত্ব 8 cm।

[0.36 dyn]

### জটিলতর গাণিতিক প্রমাণ

29. একটি দণ্ড-চুম্বকের অক্ষ বরাবর উহার মধ্য বিন্দু হইতে যথাক্রমে 10 cm এবং 20 cm দূরে অবস্থিত দুই বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুপাত 25 : 2। চুম্বকের মেরুদ্বয়ের দূরত্ব নির্ণয় কর।

[সমাধানের ইঙ্গিত : চুম্বকের অক্ষ বরাবর  $d_1$  এবং  $d_2$  দূরত্বে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য যথাক্রমে  $F_1$  এবং  $F_2$  হইলে লেখা যায়,

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{2Md_1}{(d_1^2 - l^2)} \bigg/ \frac{2Md_2}{(d_2^2 - l^2)} \quad \dots (i)$$

প্রদত্ত শর্তানুসারে,  $d_1 = 10$  cm,  $d_2 = 20$  cm এবং  $F_1/F_2 = 25/2$

(i) নং সমীকরণে  $d_1$ ,  $d_2$  এবং  $(F_1/F_2)$ -এর মান বসাইয়া পাই,

$$2l = \text{চুম্বকের দুই মেরুর দূরত্ব} = 10 \text{ cm}]$$

30. দুইটি চুম্বক-মেরুর মধ্যে একটি অপরাট অপেক্ষা 5 গুণ বেশি শক্তিশালী। ইহাদিগকে বায়ুতে 10 cm ব্যবধানে রাখিলে ইহারা একে অন্যের উপর 80 mgm ভরবিশিষ্ট বস্তুর ওজনের সমান বল প্রয়োগ করে। মেরু দুইটির উভয়ের মেরুশক্তি নির্ণয় কর। ( $g = 980 \text{ cm/sec}^2$ )

[ইঞ্জিনিয়ারিং আর্কাইভেশন টেস্ট, 1965] [39'6 একক, 198 একক]

31. একটি চুম্বকের ড্রামক 1500 একক এবং ইহার দুই মেরুর দূরত্ব 10 cm। চুম্বকটির মধ্যবিন্দু হইতে উহার অক্ষ বরাবর 20 cm দূরে অবস্থিত 100 একক মেরুশক্তিসম্পন্ন মেরুর উপর চুম্বকটি যে-বল প্রয়োগ করে তাহা নির্ণয় কর। [42'67 dyn]

32. সমান দৈর্ঘ্যের দুইটি চুম্বককে পরস্পর লম্বভাবে এইরূপে যুক্ত করা হইল যাহাতে চুম্বকদ্বয়ের মধ্যবিন্দু পরস্পর উপরিপাতিত হয়।  $N_1S_1$  চুম্বকটির চৌম্বক ড্রামক  $N_2S_2$  চুম্বকটির চৌম্বক-ড্রামকের তিনগুণ। এই যুগ্ম-চুম্বককে উহার মধ্যবিন্দুতে এমনভাবে ঠেকা দেওয়া হইল যাহাতে উহা অনুভূমিক তলে অবাধে ঘুরিতে পারে। যখন আলোচ্য সংস্থাটি সাম্যে আসে তখন স্থানীয় চৌম্বক মধ্যতলের সহিত  $N_1S_1$  চুম্বকটি কত কোণ করিয়া থাকে?

[আই. আই. টি. আর্কাইভেশন টেস্ট, 1975] [ $\tan^{-1} \frac{1}{3}$ ]

33. দুইটি সদৃশ চুম্বকিত শলাকাকে একটি হুক হইতে এমনভাবে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল যাহাতে সমমেরুগুলি একসঙ্গে থাকে। চুম্বক-শলাকাদ্বয় উল্লম্ব তলে মুক্তভাবে চলিতে পারে। শলাকা দুইটির উভয়ের ওজন এবং দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 6'25 gm-wt এবং 8 cm। সাম্যাবস্থায় শলাকাদ্বয় পরস্পরের সহিত  $4^\circ$  কোণ করিয়া থাকে। চুম্বকিত শলাকাদ্বয়ের মেরুশক্তি নির্ণয় কর। ধরিয়া লও যে, শলাকাগুলির মেরুশক্তি উহাদের প্রান্তে কেন্দ্রীভূত আছে।

[5'77 একক]



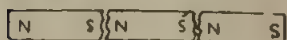
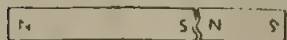
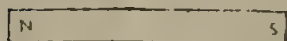
## পদার্থের চৌম্বক ধর্ম

*The true scientist recognises the fact that scientific knowledge is a narrow thing, it rules out the ecstasy of life. It can handle with its hands and see with its eyes.*

—Robert Norwood

### 3.1 বিচ্ছিন্ন চুম্বক মেরুর অস্তিত্ব নাই

চুম্বকের সাধারণত দুইটি বিপরীতধর্মী মেরু থাকে। একটি দণ্ড-চুম্বকের এক প্রান্তে থাকে একটি উত্তর-মেরু এবং অপর প্রান্তে থাকে একটি দক্ষিণ-মেরু। এই দণ্ড-চুম্বকে মাঝামাঝি ভাঙিয়া দ্বিখণ্ডিত করিলে উহার দুই অংশে একটি করিয়া মেরু থাকিবে—



এইরূপ মনে হইতে পারে। কিন্তু প্রকৃত পরীক্ষায় দেখা যায় যে, দণ্ড-চুম্বকের উভয় খণ্ডই দুই মেরুবিশিষ্ট পূর্ণাঙ্গ চুম্বকে পরিণত হইয়াছে। এই খণ্ডগুলির যে-কোন একটিকে লইয়া পুনরায় দ্বিখণ্ডিত করিলে দেখা যাইবে যে, উহার খণ্ডিত অংশগুলিও দুই মেরু-বিশিষ্ট পূর্ণাঙ্গ চুম্বক। এইরূপে একটি চুম্বকে ক্রমাগত ভাঙিতে থাকিলে দেখা যাইবে যে, উহার ক্ষুদ্রতম অংশেও দুইটি মেরুর অস্তিত্ব রহিয়াছে। ইহা হইতে

চিত্র 3.1

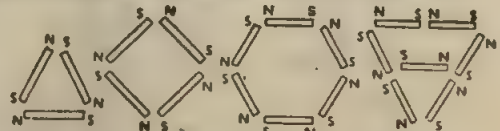
সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, চুম্বকের মেরু সর্বদাই যৌথভাবে উপস্থিত থাকে। বিচ্ছিন্নভাবে একটি উত্তর-মেরু বা দক্ষিণ-মেরুর অস্তিত্ব সম্ভব নয়।

এ প্রসঙ্গে তড়িদাধানের সহিত চৌম্বক মেরুর একটি মৌলিক পার্থক্য বিশেষভাবে লক্ষণীয়। তড়িদাধান যেমন দুই প্রকার, চুম্বক-মেরুও তেমন দুই প্রকার। তবে, ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িদাধানের স্বতন্ত্র অস্তিত্ব সম্ভব, অর্থাৎ ধনাত্মক তড়িদাধানকে পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্ন করা যায়; কিন্তু চুম্বকের উত্তর-মেরু এবং দক্ষিণ-মেরুকে আলাদাভাবে পাওয়া সম্ভব নয়।

### 3.2 চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব

একথা বলা হইয়াছে যে, বিভাজন করিয়া চুম্বকের দুই মেরু পৃথক করা যায় না। এইরূপ বিভাজন চলিতে থাকিলে এক সময় আমরা চুম্বকের উপাদানের আণবিক অবস্থায় পৌঁছাইব। সুতরাং চুম্বকের প্রতিটি অণুই দুই মেরুবিশিষ্ট চুম্বক—এইরূপ মনে করা যুক্তিসঙ্গত। বিজ্ঞানী ওয়েবার (Weber) সর্বপ্রথম চুম্বকত্বের এই মতবাদ

বাস্তব করেন বলিয়া তাঁহার নামানুসারে এই অণু-চুম্বকগুলিকে বলা হয় ওয়েবার উপাদান (Weber elements)। ওয়েবারের অভিমত অনুসারে, চৌম্বক চৌম্বক পদার্থের আণবিক ধর্ম। ওয়েবার আরও বলেন যে, চৌম্বক পদার্থের প্রতিটি অণুই এক একটি পূর্ণাঙ্গ চুম্বক। স্বাভাবিকভাবেই প্রশ্ন উঠে যে, চৌম্বক পদার্থের প্রতিটি অণু যদি পূর্ণাঙ্গ চুম্বক হয় তাহা হইলে চৌম্বক পদার্থগুলি সর্বদা চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে না কেন? ওয়েবারের তত্ত্বে এই প্রশ্নেরও সমাধান রহিয়াছে। চৌম্বক পদার্থের অণুগুলি বিশেষভাবে সজ্জিত হইলে তবেই উহাতে চুম্বক সঞ্চারিত হয়। স্বাভাবিক অবস্থায় অণু-চুম্বকগুলি এলোমেলোভাবে বা শৃঙ্খলাহীনভাবে ছড়ান থাকে বলিয়া উহাতে এক চুম্বক-মেরুর ক্রিয়া অপর চুম্বক-মেরুকে নিষ্ক্রিয় করিয়া দেয়। বিজ্ঞানী এউইং (Ewing)-এর মতানুসারে চৌম্বক পদার্থের অণু-চুম্বকগুলি বন্ধমুখ শৃঙ্খল (closed chains)-এর ন্যায় অবস্থান করে বলিয়া উহাদের মেরুগুলি নিষ্ক্রিয় হইয়া পড়ে। চৌম্বক পদার্থের অণু-চুম্বকগুলি স্বাভাবিক অবস্থায় কীরূপে সজ্জিত থাকে 3.2 নং চিত্রে তাহা দেখান হইয়াছে।



চিত্র 3.2

কোন প্রক্রিয়ার সাহায্যে এইসব বন্ধমুখ শৃঙ্খল ভাঙিয়া অণু-চুম্বকগুলিকে পর পর শ্রেণীবদ্ধভাবে সজ্জিত করিতে পারিলে উহাদের দুই প্রান্তে মেরু-ধর্ম সঞ্চারিত হয় (চিত্র 3.3)। বিভিন্ন চুম্বকণ



(a)



(b)



(c)

চিত্র 3.3

প্রক্রিয়ার ফলে অণু-চুম্বকগুলির মেরু-ধর্মের কোন বাহ্যিক প্রকাশ দেখা যায় না। চুম্বকণ প্রক্রিয়ার ফলে কিছু পরিমাণ অণু-চুম্বক একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে সজ্জিত হইলে চৌম্বক পদার্থে চুম্বক সঞ্চারিত হয় [চিত্র 3.3 (b), (c)]।

কোন চুম্বকের দুই প্রান্তে মুক্ত আণবিক মেরুর সংখ্যা যত বেশি হইবে উহার চুম্বকত্বের পরিমাণও তত বেশি হইবে। চুম্বকত্বের এই

পরিমাণকে চুম্বকের মেরুশক্তি (pole strength) বলিয়া উল্লেখ করা হয়। যত বেশি অণু-চুম্বক চুম্বকের দৈর্ঘ্যবরাবর শ্রেণীবদ্ধভাবে সজ্জিত হয় তত চুম্বকের মেরুশক্তি তত বৃদ্ধি



পায়। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে, চুম্বকণ প্রক্রিয়া চালাইতে থাকিলে মেরুশক্তি অনির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত বাড়ান যায় না। চুম্বকের মেরুশক্তি একটি নির্দিষ্ট উৎস-সীমায় পৌঁছবার পর আর বৃদ্ধি পায় না। কৃত্রিম চুম্বক প্রকৃতির বিভিন্ন পদ্ধতি লক্ষ্য করিলেই ইহার সত্যতা প্রমাণিত হয়।

ওয়েবারের আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে সহজেই ইহা ব্যাখ্যা করা যায়। চৌম্বক পদার্থের সকল অণুই শ্রেণীবদ্ধভাবে উহার দৈর্ঘ্য বরাবর সজ্জিত হইলে চুম্বকের মেরুশক্তি সর্বোচ্চ হয় [চিত্র 3.3 (c)]। ইহার পর মেরুশক্তি আর বাড়ান যায় না।

● আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চৌম্বক আবেশের ব্যাখ্যা : চুম্বকের আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে সহজেই চৌম্বক আবেশ (magnetic induction)-এর ব্যাখ্যা করা যায়। চুম্বকের একটি মৌলিক ধর্ম হইল এই যে, বিপরীতধর্মী চৌম্বক মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে। সুতরাং কোন চুম্বকের একটি মেরুকে লোহা বা অন্য কোন চৌম্বক পদার্থের নিকট আনিলে ঐ চুম্বক-মেরুর আকর্ষণে চৌম্বক পদার্থের আণবিক চুম্বকগুলির বিপরীত মেরু চুম্বকটির অভিমুখী হইবে এবং সমমেরু বিকর্ষণের ফলে সরিয়া যাইতে চাহিবে। কাজেই একটি চুম্বকের উত্তর-মেরু একটি লৌহদণ্ডের সম্মুখীন হইলে লৌহদণ্ডের মধ্যবর্তী অণু-চুম্বকগুলি এমনভাবে ঘুরিয়া যায় বাহ্যতে উহাদের দক্ষিণ-মেরু আবেশী চুম্বক মেরুটির অভিমুখী হয়। ইহাতে দণ্ড-চুম্বকের দুই প্রান্তে দুইটি মেরু-ধর্মের উদ্ভব হয়। লৌহদণ্ডের যে-প্রান্ত আবেশী উত্তর-মেরুর নিকটতর সেই প্রান্তে একটি দক্ষিণ-মেরু এবং যে-প্রান্ত আবেশী উত্তর-মেরু হইতে দূরবর্তী সেই প্রান্তে একটি উত্তর-মেরু সৃষ্টি হয়। ফলে লৌহদণ্ডটি কার্যত একটি চুম্বকে পরিণত হয়। আবেশী চুম্বক-মেরুটি সরাসরি লইলে লৌহদণ্ডের অণু-চুম্বকগুলির উপরে ক্রিয়াশীল বল বা ঘূর্ণের অস্তিত্ব থাকে না বলিয়া ঐ অণু-চুম্বকগুলি পুনরায় পূর্বের ন্যায় বদ্ধ শৃঙ্খলিত অবস্থায় ফিরিয়া যায়, ফলে ইহার চুম্বকত্ব লোপ পায়। চৌম্বক আবেশ প্রকৃতপক্ষে চুম্বকের আণবিক তত্ত্বের ব্যাখ্যা প্রমাণ করে।

● আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চুম্বকণের ব্যাখ্যা : চুম্বকের সাহায্যে একটি নির্দিষ্ট নিয়মে কোন লৌহদণ্ডকে ঘষিলে দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হয়। চুম্বকণের আণবিক তত্ত্ব হইতে সহজেই ইহা ব্যাখ্যা করা যায়। চুম্বকণ প্রক্রিয়ার লৌহদণ্ডের অণু-চুম্বকগুলি এক রেখার পর পর শ্রেণীবদ্ধভাবে সজ্জিত হয়, ফলে দণ্ডটির দুই প্রান্তে মেরু-ধর্মের



চিত্র 3.4

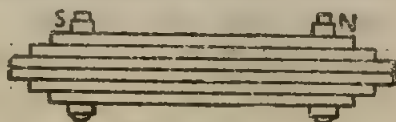
উদ্ভব হয়, কেননা, এই সময় লৌহদণ্ডের উভয় প্রান্তে অণু-চুম্বকের একজাতীয় মেরু পাশাপাশি সজ্জিত হয়। মধ্যবর্তী সকল স্থানে বিকল্প মেরুগুলি পরস্পর মুখোমুখি থাকে বলিয়া ইহারা পরস্পরকে নিষ্ক্রিয় করিয়া দেয়। চুম্বকের দুই প্রান্তের মেরুগুলি সক্রিয় থাকে, কেননা, ইহাদের সম্মুখে কোন বিপরীত মেরু থাকে না। একক-স্পর্শ পদ্ধতিতে লৌহদণ্ডের চুম্বকণের নিম্নরূপে ব্যাখ্যা করা যায়।

যখন একটি দণ্ড-চুম্বকের উত্তর-মেরুকে লোহার উপর দিয়া ঘুরিয়া টানা হয় তখন স্পর্শ-বিন্দুর সমীপস্থ অণু-চুম্বকগুলি এমনভাবে ঘুরিয়া যায় বাহ্যতে উহাদের দক্ষিণ-মেরু আবেশী উত্তর-মেরুর অভিমুখী হয়। উত্তর-মেরু লৌহদণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর আগাইয়া বাইতে থাকিলে অণু-চুম্বকগুলি উহার সহিত আগাইয়া বাইতে না পারিয়া ঘুরিয়া যায় এক অণু-চুম্বকগুলির দক্ষিণ-মেরু অপসরণ আবেশী উত্তর-মেরুর দিকে মুখ করিয়া থাকে (চিত্র 3.4)। ফলে যে-প্রান্ত হইতে চুম্বকটিকে টানা শুরু হয় দণ্ডের সেই প্রান্তে উত্তর-মেরু এবং যে-প্রান্তে টানা শেষ হয় সেই প্রান্তে দক্ষিণ-মেরুর উদ্ভব হয়।

একটি চুম্বকের সাহায্যে ঘুরিয়া কোন লৌহদণ্ডকে চুম্বকে পরিণত করিবার সময় কেবলমাত্র লৌহদণ্ডের উপরিভাগের অণু-চুম্বকগুলিকেই প্রণীকৃতভাবে দণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর সজ্জিত করা যায়, উহার মধ্যবর্তী আণবিক চুম্বকগুলিকে ঐরূপ সজ্জিত করা যায় না। ইহার কারণ এই যে, আবেশী মেরুর চৌম্বক প্রভাব লৌহদণ্ডের ভিত্তরে বেশিদূর প্রবেশ করিতে পারে না। এইজন্য লৌহদণ্ডকে চুম্বকে পরিণত করিবার সময় ধ্বংস প্রক্রিয়ার পুনরাবৃত্তি করিতে হয় এবং দণ্ডের উত্তর পার্শ্বেই চুম্বকটিকে রাখিতে হয়।

সেটা লৌহদণ্ডকে ধ্বংসের সাহায্যে খুব বেশি শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত করা যায় না। ইহার পরিবর্তে কয়েকটি লৌহদণ্ড পাত লইয়া ধ্বংসের সাহায্যে উহাদের প্রত্যেককে পৃথকভাবে চুম্বকে পরিণত করিয়া ঐ পাতগুলির উত্তর-মেরুগুলিকে এক পার্শ্বে এবং দক্ষিণ-মেরুগুলিকে অপর পার্শ্বে রাখিয়া উহাদের জুড়িয়া দেওয়া হয় (চিত্র 3.5)।

ঐরূপ চুম্বকে ফলক-নির্মিত চুম্বক (laminated magnet) বলা হয়।



চিত্র 3.5

শক্তিশালী চুম্বক নির্মাণের জন্য বৈদ্যুতিক

পদ্ধতিই সর্বাপেক্ষা বেশি কার্যকরী, কেননা এক্ষেত্রে তড়িৎ-প্রবাহের মাধ্যমে বৃদ্ধি করিয়া বেশি সংখ্যক অণু-চুম্বককে সরলরোখা করা যায় সজ্জিত করা যায়।

### 3.3 চৌম্বক সম্পৃক্ততা (Magnetic saturation)

আণবিক তত্ত্ব হইতে এই সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায় যে, প্রতিটি চৌম্বক পদার্থের চুম্বকের একটি উৎসীমা রহিয়াছে। বাহির হইতে চৌম্বক শক্তি প্রয়োগ করিয়া চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করা হয়। এই বাহ্যিক চৌম্বকশক্তির প্রাবল্য বৃদ্ধি বেশি হইবে তত বেশি অণু-চুম্বক একমুখী হইবে, ফলে চৌম্বক পদার্থের চুম্বকত্বও বাড়িবে। বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বৃদ্ধি করিতে থাকিলে এক সময় সকল অণু-চুম্বকই একমুখী হইয়া পড়িবে। এই সময় চৌম্বক পদার্থে উদ্ভূত চুম্বকের মান সর্বোচ্চ। ইহার পর বাহির হইতে প্রস্তুত চৌম্বক ক্ষেত্রের তীব্রতা আরও বৃদ্ধি করিলেও পদার্থের চুম্বকের মাত্রা আর বৃদ্ধি পাইবে না। এই অবস্থায় বলা হয় যে, পদার্থটির চৌম্বক সম্পৃক্তি ঘটিয়াছে।

### 3.4 চৌম্বক পদার্থের অণুগুলির চুম্বকত্বের কাকত

প্রাচীনকালেই প্রথমে উঠিবে যে, চৌম্বক পদার্থের অণুগুলির চুম্বকের মাত্রা আচরণ করে কেন? পদার্থের অণু সম্বন্ধে আধুনিক মতবাদ বিশ্লেষণ করিলেই এই

প্রশ্নের সমাধান পাওয়া যাইবে। অণুর কেন্দ্রে থাকে ধনাত্মক তড়িদাহিত নিউক্লিয়াস (nucleus) এবং উহাকে ঘিরিয়া বিভিন্ন উপবৃত্তাকার (elliptical) কক্ষপথে থাকে ঋণাত্মক তড়িদাহিত প্রামাণ্য ইলেকট্রন-কণা। কক্ষপথে প্রামাণ্য ইলেকট্রন প্রকৃতপক্ষে তড়িৎ-বাহী কুণ্ডলীর তুল্য। আবার আমরা জানি যে, কোন তড়িৎ-বাহী কুণ্ডলী একটি চাকৃতি-চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। সাধারণত অণুতে ইলেকট্রনগুলি একাধিক কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে। এই কক্ষগুলি বিভিন্ন তলে অবস্থান করে। ইলেকট্রনবাহী প্রতিটি কক্ষপথেই এক-একটি চাকৃতি-চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। এই চাকৃতি-চুম্বকগুলির চৌম্বক প্রামক (magnetic moment)-এর অভিমুখ বিভিন্ন। অণুতে বিদ্যমান সকল ইলেকট্রন কক্ষের চৌম্বক প্রামক যোগ করিলে যদি লব্ধি চৌম্বক প্রামকের মান শূন্য হয় তবে অণুটির চৌম্বক-ধর্ম থাকিবে না। কিন্তু যদি কোন অণুর ইলেকট্রন কক্ষগুলির চৌম্বক প্রামকের লব্ধির মান শূন্য না হয় তবে ঐ অণুটি একটি চুম্বকের ন্যায় আচরণ করিবে।

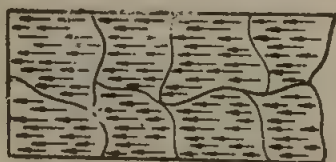
### 3.5 আধুনিক ডোমেন তত্ত্ব (Modern domain theory)

ওয়েবারের আণবিক তত্ত্ব হইতে চুম্বকত্ব-সংক্রান্ত বহু ঘটনাবলীর ব্যাখ্যা করা গেলেও এই তত্ত্বের দুর্বলতা আছে। লোহকে চুম্বকে পরিণত করা যায়, অথচ অন্যান্য অনেক পদার্থকে (যেমন, রূপা) কেন চুম্বকে পরিণত করা যায় না ওয়েবারের সরল আণবিক তত্ত্ব হইতে ইহার ব্যাখ্যা পাওয়া যায় না। লোহার একটি অণুতে যে-পরিমাণ চুম্বকত্ব আছে একটি রূপার অণুতেও সেই পরিমাণ চুম্বকত্ব আছে ইহা বিশ্বাস করিবার সপক্ষে যুক্তি রহিয়াছে। ইহা সত্ত্বেও চুম্বকের দ্বারা ঘটিয়া বা অন্য কোন চুম্বকণ প্রক্রিয়ায় লোহকে যেমন চুম্বকে পরিণত করা যায়, রূপাকে সেইরূপ চুম্বকে পরিণত করা যায় না। আধুনিক তত্ত্ব-অনুযায়ী, চৌম্বক পদার্থে কতকগুলি করিয়া অণু একত্রিত হইয়া গোষ্ঠীবদ্ধ



(a)

চিত্র 3.6

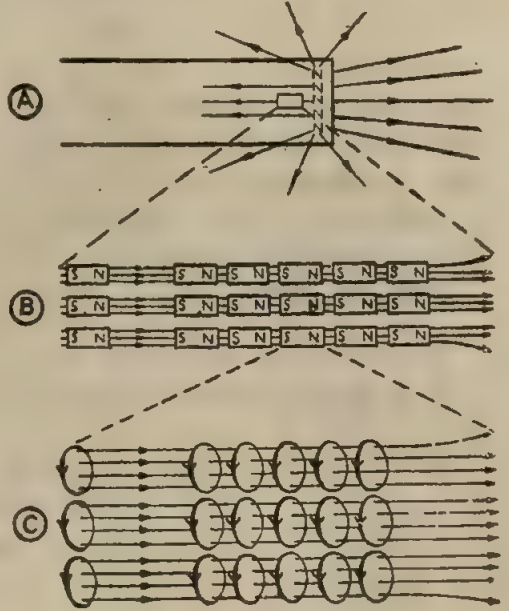


(b)

অবস্থায় থাকে। প্রতিটি গোষ্ঠী অসংখ্য অণু দ্বারা গঠিত। এই অণু-গোষ্ঠীগুলিকে ডোমেন (domain) বলা হয়। ডোমেনগুলির প্রতিটিতে যে-সকল অণু-চুম্বক থাকে উহাদের প্রত্যেকের অক্ষের অভিমুখ অভিন্ন হয় (চিত্র 3.6 a)। ফলে প্রতিটি ডোমেন একটি চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। কিন্তু সাধারণভাবে কোন চৌম্বক পদার্থের ডোমেনগুলি অক্রমভাবে (randomly) সজ্জিত থাকে বলিয়া ঐ চৌম্বক পদার্থে চুম্বকত্ব পরিলক্ষিত হয় না। আধুনিক ডোমেন তত্ত্বানুসারে চুম্বকণ প্রক্রিয়ায় এই ডোমেনগুলির চৌম্বক অক্ষ ঘুরিয়া যায়। এই সময় ডোমেনগুলির আকার এবং আয়তনেরও পরিবর্তন ঘটে (চিত্র 3.6 b)। চৌম্বক পদার্থে ডোমেনগুলির অস্তিত্বের কারণ কী তাহা এখনও সঠিকভাবে বলা যায় নাই।

### 3.6 চৌম্বক আবেশ রেখা

কোন পরমাণুর কেন্দ্রে থাকে নিউক্লিয়াস এবং ইলেকট্রনগুলি কক্ষপথে উহাকে পরিভ্রমণ করে। পরিভ্রমণরত ইলেকট্রন কার্যত একটি বৃত্তীয় তড়িৎ-প্রবাহ (circular current)। যদি আমরা ধরিয়া লই যে, চুম্বকটি কতকগুলি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বৃত্তীয় তড়িৎ-প্রবাহের সমষ্টি তাহা হইলে উহার উহাদের নিজস্ব বলরেখা উৎপন্ন করিবে এবং যদি বৃত্তীয় প্রবাহগুলি পরস্পর সমান্তরাল হয় তাহা হইলে এই রেখাগুলি চুম্বকের মধ্য দিয়া এক প্রান্ত হইতে অন্য প্রান্ত পর্যন্ত যাইবে (চিত্র 3.7)। এই বলরেখাগুলিকে চৌম্বক আবেশ রেখা (line of induction) বলা হয়। ইহারা চৌম্বক বলরেখার অনুরূপ। চৌম্বক আবেশ (magnetic induction)-এর নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায়।



চিত্র 3.7

আবেশ রেখাগুলির সহিত লম্বভাবে স্থাপিত প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া মোট যতগুলি রেখা অতিক্রম করিবে তাহাকে চৌম্বক আবেশ বলা হয়। প্রতি বর্গ

সেমিটমিটারের মধ্য দিয়া যতগুলি আবেশ রেখা অতিক্রম করে তাহার দ্বারা চৌম্বক আবেশের পরিমাপ করা হয়। স্পষ্টতই, চুম্বকের মধ্যে কোন বিন্দুতে চৌম্বক আবেশের মান উহার খানিকটা বাহিরের কোন বিন্দুতে চৌম্বক আবেশের মান অপেক্ষা বেশি, কেননা ভিতরে ও বাহিরে রেখার মোট সংখ্যা এক হইলেও চুম্বকের মধ্যে ইহারা অনেক বেশি, ঘনভাবে সন্নিবিষ্ট। চুম্বক বা চৌম্বক পদার্থের মধ্য দিয়া চৌম্বক আবেশ রেখার সহিত নলের মধ্য দিয়া তরলের প্রবাহরেখার তুলনা করা যায়। এইজন্য আবেশ রেখাগুলিকে চৌম্বক প্রবাহ (magnetic flux) এবং চৌম্বক আবেশকে প্রবাহ ঘনত্ব (flux density) বলা হয়। বিখ্যাত জার্মান বিজ্ঞানী কার্ল ফ্রিডরিখ গাউস (Karl Friedrich Gauss)-এর নামানুসারে সি. জি. এস পদ্ধতিতে চৌম্বক আবেশের এককের নাম দেওয়া হইয়াছে গাউস (gauss)। স্কুল-কলেজে যে-সকল দণ্ড-চুম্বক ব্যবহৃত হয় তাহাদের চৌম্বক আবেশের মান এক বা দুই হাজার গাউসের মত।

3.7 নং চিত্রটি পুনরায় বিবেচনা করা যাক। আমরা প্রতিটি বৃত্তীয় তড়িৎ-প্রবাহকে একটি করিয়া দ্বি-মেরুবিশিষ্ট অণু-চুম্বক (dipole) দ্বারা প্রতিনিধিত্ব করিতে



পারি। এইরূপ করিলে এই বি-মেরুবিশিষ্ট অণু-চুম্বকগুলি চুম্বকের দুই প্রান্তে দুইটি বিপরীত মেরুর সৃষ্টি করিবে। এই মেরুগুলি চুম্বকের অভ্যন্তরে চৌম্বক আবেশের বিপরীত দিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি করে (চিত্র 3.7 A)। এইজন্য ইহাকে বিচুম্বকণ ক্ষেত্র (demagnetising field) বলা হয়। যদি এই ক্ষেত্রকে  $H$ -দ্বারা সূচিত করা যায় তাহা হইলে চুম্বকের অভ্যন্তরে প্রাপ্ত একক ক্ষেত্রফল দিয়া অতিক্রান্ত রেখার সংখ্যা  $(B-H)$ -এর সমান। ইহাই চুম্বকটির চুম্বকত্বের পরিমাপ (measure of intrinsic magnetisation)।

মনে করি,  $B-H=J$

... (i)

উপরি-উক্ত সমীকরণে  $J$  রাশিটি চুম্বকণ মাত্রা (intensity of magnetisation) নামক অপর একটি মৌলিক রাশির সহিত সম্পর্কযুক্ত। কোন চুম্বকের একক আয়তনের চৌম্বক ভ্রামককে উহার চুম্বকণ-মাত্রা বলা হয়। চুম্বকের আয়তন  $V$  এবং চৌম্বক ভ্রামক  $M$  হইলে ইহার চুম্বকণ-মাত্রা,  $J=M/V$

... (ii)

আবার, চুম্বকের মেরুশক্তি  $m$  এবং দৈর্ঘ্য  $2l$  হইলে চৌম্বক-ভ্রামক  $M=m \times 2l$  এবং  $V=A \times 2l$ ,  $A$ =চুম্বকের প্রস্থক্ষেত্র।

সমীকরণ (ii) হইতে পাই,  $J=\frac{M}{V}=\frac{m \times 2l}{A \times 2l}=\frac{m}{A}$

... (iii)

সুতরাং, চুম্বকণ-মাত্রার নিম্নরূপ বিকল্প সংজ্ঞা দেওয়া যায়,—

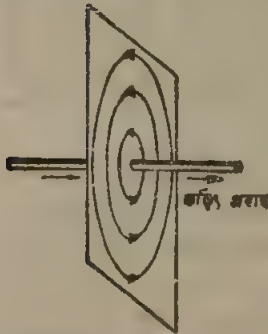
চুম্বকের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে উৎপন্ন মেরুশক্তিই চুম্বকটির চুম্বকণ মাত্রা। দেখান যান যে,  $J=4\pi I$

... (iv)

সুতরাং,  $B-H=4\pi I$

বা,  $B=H+4\pi I$

... (3.1)



চিত্র 3.8

এখানে লক্ষণীয় যে, দণ্ড-চুম্বকের অভ্যন্তরে  $B$  এবং  $H$  ভেক্টরের পরস্পর বিপরীতমুখী।  $B$  ভেক্টরের সূচক আবেশ রেখাগুলি বন্ধকুণ্ডলীর রেখা (closed curves, কেননা, ইহারা চুম্বকের বাহিরে উত্তর-মেরু হইতে দক্ষিণ-মেরুর দিকে এবং চুম্বকের মধ্য দিয়া দক্ষিণ-মেরু হইতে উত্তর-মেরুর দিকে যায়। কিন্তু  $H$ -ভেক্টরের সূচক বলরেখাগুলি বন্ধকুণ্ডলী নয়। এ প্রসঙ্গে বলা প্রয়োজন যে, কোন তড়িৎ-বাহী তারকে ঘিরিয়া যে-বলরেখার সৃষ্টি হয় সেই বলরেখাগুলি বন্ধ (closed) (চিত্র 3.8)। অর্থাৎ, বন্ধ বলরেখা সর্বদা কোন তড়িৎ-প্রবাহকে

বেষ্তন করিয়া থাকিবে।\*

### 3.7 চৌম্বক ভেদ্যতা ও চৌম্বক প্রাণণতা (Magnetic permeability and susceptibility)

কোন চৌম্বক পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করিলে আবেশ ক্রিয়ার ফলে

\* অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্য (Ampere's circuital theorem) হইতে সরাসরি এই সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায়।

পদার্থটি চুম্বকে পরিণত হয়। আবেশ সৃষ্টিকারী চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য  $H$  এবং চৌম্বক পদার্থের আবেশ  $B$  হইলে লেখা যায় যে,

$$B = H + 4\pi I, \quad I = \text{চুম্বকণ-মাত্রা}$$

চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত চৌম্বক পদার্থের আবেশ  $B$  এবং আবেশ-সৃষ্টিকারী চৌম্বক প্রাবল্যের অনুপাতকে উক্ত পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা বলা হয়।

অর্থাৎ, ভেদ্যতা,  $\mu = \frac{B}{H} = \frac{\text{প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত আবেশরেখা}}{\text{প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখা}}$

একক চৌম্বক ক্ষেত্র-কর্তৃক কোন মাধ্যমে যে-চৌম্বক আবেশ সৃষ্টি হয় তাহাকে মাধ্যমের ভেদ্যতা বলা হয়। 'লোহার চৌম্বক ভেদ্যতা 1500' বলিতে বুঝায় যে, কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে শূন্যস্থানের (বা বায়ুর) মধ্য দিয়া যে-কয়টি বলরেখা যাইবে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রে লোহা রাখিলে তদপেক্ষা 1500 গুণ বেশি আবেশ রেখার সৃষ্টি হইবে।

চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত কোন চৌম্বক পদার্থে আবিষ্ট চুম্বকণ-মাত্রা  $I$  এবং আবেশ-সৃষ্টিকারী প্রাবল্য  $H$ -এর অনুপাতকে ঐ পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা (magnetic susceptibility) বলা হয়।

$$\text{অর্থাৎ, চৌম্বকপ্রবণতা, } \chi = \frac{I}{H}$$

=  $\frac{\text{প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চুম্বকণ রেখা (line of magnetisation)}}{\text{প্রতি একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখা}}$

$$\text{কিন্তু, আমরা জানি, } B = H + 4\pi I \quad \text{বা, } \frac{B}{H} = 1 + 4\pi \frac{I}{H}$$

$$\text{বা, } \mu = 1 + 4\pi \chi$$

ইহাই চৌম্বক ভেদ্যতা ও চৌম্বক প্রবণতার পারস্পরিক সম্পর্ক।

### 3.8 চুম্বকত্ব-ধারণ-ক্ষমতা এবং নিগ্রহ-সহনশীলতা (Retentivity and coercivity)

চুম্বকের সাহায্যে কোন অয়স্চৌম্বক পদার্থের চুম্বকত্ব আবিষ্ট করিয়া আবেশ-সৃষ্টিকারী চুম্বকটি সরাইয়া লইলেও চৌম্বক পদার্থে আবিষ্ট চুম্বকত্ব সম্পূর্ণ বিলুপ্ত হয় না। অর্থাৎ, আবেশী চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারিত হইলেও চৌম্বক পদার্থে আবিষ্ট চুম্বকত্বের কিছুটা অবশিষ্ট থাকে। চৌম্বক পদার্থের যে-ধর্মের ফলে আবেশী চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারিত হইবার পরও উহাতে আবিষ্ট চুম্বকত্ব থাকিয়া যায় তাহাকে ঐ পদার্থের চুম্বকত্ব-ধারণ-ক্ষমতা বলা হয়।

আবেশ-সৃষ্টিকারী চুম্বক সরাইয়া লইলেও পদার্থে যে-চুম্বকত্ব থাকিয়া যায় তাহা কোন কোন পদার্থের ক্ষেত্রে সামান্য কারণেই লোপ পায় আবার কোন কোন পদার্থের ক্ষেত্রে সহজে লোপ পায় না। যে-পদার্থের চুম্বকত্ব সহজে কমান যায় না তাহার নিগ্রহ-সহনশীলতা (coercivity) বেশি—এইরূপ খেলা হয়। কাঁচা লোহার ধারণ-ক্ষমতা ইম্পাত অপেক্ষা সামান্য বেশি হইলেও ইহার নিগ্রহ-সহনশীলতা খুবই কম। একটি ইম্পাত ও একটি কাঁচা লোহার একই রকম দণ্ডকে সমপরিমাণে চুম্বকিত করিয়া উহাদের

একই সঙ্গে উপর হইতে মেঝেতে ফেলিয়া দিলে দেখা যাইবে যে, ইম্পাত-নির্মিত চুম্বকটির চুম্বকত্বের তেমন পরিবর্তন হয় নাই কিন্তু কাঁচা লোহা-নির্মিত চুম্বকটির চুম্বকত্ব বহুলাংশে হ্রাস পাইয়াছে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, কাঁচা লোহা অপেক্ষা ইম্পাতের নিগ্রহ-সহনশীলতা বেশি। স্থায়ী চুম্বক তৈয়ারী করিতে হইলে এমন পদার্থ ব্যবহার করিতে হইবে যাহার নিগ্রহ-সহনশীলতা বেশি তাহা না হইলে চুম্বকের শক্তি সহজেই কমিয়া যাইতে পারে।

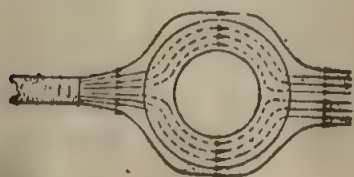
কাঁচা লোহার চৌম্বক প্রবণতা বেশি বলিয়া অস্থায়ী চুম্বক নির্মাণে ইহার ব্যবহার আছে। কিন্তু স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে ইম্পাত ও অন্যান্য ধাতুসংকর ব্যবহৃত হয় যাহাদের নিগ্রহ-সহনশীলতা ও চৌম্বক-ধারণত্ব বেশি। অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল ও কোবাল্টের সংকর ধাতু অ্যালনিকো (Alnico), টিটানিয়াম, কোবাল্ট, নিকেল ও অ্যালুমিনিয়ামের সংকর টিকোনাল (ticonal) এবং লোহা, কোবাল্ট ও ভ্যানাডিয়ামের তৈয়ারী সংকর ধাতু ডিক্যালয় ইত্যাদি পদার্থ স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে বিশেষ উপযুক্ত।

### 3.9 চৌম্বক আচ্ছাদন (Magnetic screening)

কোন কাচ বা কাঠের প্লেটের তলায় কোন চৌম্বক পদার্থ রাখিয়া যদি ঐ প্লেটের উপর একটি চুম্বক ধরা যায় তাহা হইলে চৌম্বক পদার্থটি আকৃষ্ট হইবে। কিন্তু যদি কোন চৌম্বক পদার্থকে একটি কাঁচা লোহার প্লেটের তলায় রাখিয়া ঐ প্লেটের উপরে একটি চুম্বক ধরা হয় তাহা হইলে ইহার উপর চুম্বকের কোন প্রভাব দেখা যায় না।

একটি চুম্বকের নিকটে একটি কাঁচা লোহার আংটি রাখিলে ঐ আংটির মধ্যবর্তী অঞ্চল চৌম্বক প্রভাব হইতে মুক্ত থাকে। তদ্রূপ, একটি কাঁচা লোহার আধারে একটি চুম্বক-শলাকা স্থাপন করিলে উহার উপর দণ্ড-চুম্বকটির কোন প্রভাব দেখা যায় না। এমন কি পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবও ইহার উপর পড়িবে না। ফলে ঐ চুম্বক-শলাকার সর্বদা উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া দাঁড়াইবার প্রবণতা থাকে না।

ইহার কারণ সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়। তড়িৎ-বর্তনীতে অপেক্ষাকৃত অস্পরোধ বিশিষ্ট অংশের মধ্য দিয়াই যেমন অধিকতর তড়িৎ-প্রবাহ যায়, চৌম্বক বলরেখাগুলি তদ্রূপ সেই অংশের মধ্য দিয়া যাইতে চায়, যে-অংশের চৌম্বক-ভেদ্যতা বেশি। ফলে, চৌম্বক বলরেখাগুলি কাঁচা লোহার রিং-এর উপর আপতিত হইলে উহার রিং-এর মধ্য দিয়াই চলিয়া যাইবে, ইহার মধ্যবর্তী বায়ুর মধ্য দিয়া কার্যত কোন বলরেখাই যাইবে না, কেননা কাঁচা লোহার ভেদ্যতার

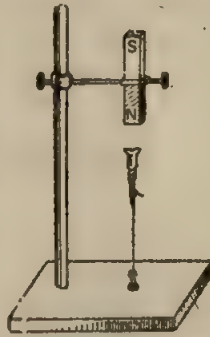


চিত্র 3.9

তুলনায় বায়ুর ভেদ্যতা নগণ্য। রিং-এর মধ্যবর্তী অঞ্চলে কোন বলরেখা থাকে না বলিয়া ঐ অঞ্চল বাহ্যিক চৌম্বক-প্রভাব হইতে মুক্ত থাকে। (চিত্র 3.9)।

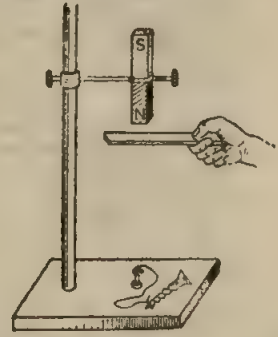
সুতরাং বুঝা যাইতেছে যে, কোন কিছুকে যদি আমরা বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব হইতে মুক্ত রাখিতে চাই তাহা হইলে উহাকে একটি চৌম্বক পদার্থের দ্বারা ঘিরিয়া দিতে হইবে। এই ব্যবস্থাকে চৌম্বক আচ্ছাদন (magnetic screening) বলা হয়।

চৌম্বক পদার্থকে অতিক্রম করিয়া যাইতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য খর্ব হয়, ইহার সমর্থনে একটি সহজ পরীক্ষা করা যাইতে পারে। শক্তিশালী একটি চুম্বকের আকর্ষণে সূতায় বাঁধা একটি পেরেককে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে ঝাড়া করিয়া রাখা হইল [ চিত্র 3.10 (a) ]। পেরেক ও চুম্বকের মধ্যে একটি কাঁচা লোহার পাত প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হইল। এইবার চুম্বকটি আর পেরেকটিকে আকর্ষণ করিয়া রাখিতে পারিবে না, ফলে পেরেকটি পড়িয়া যাইবে [ চিত্র 3.10 (b) ]।



(a)

চিত্র 3.10



(b)

### 3.10 পরাচৌম্বক, তিরশ্চৌম্বক ও অম্রশ্চৌম্বক পদার্থ (Paramagnetic, diamagnetic and ferromagnetic materials)

মাইকেল ফ্যারাডের পূর্বে বিজ্ঞানীদের ধারণা ছিল যে, সকল পদার্থ চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না। প্রকৃতপক্ষে, তৎকালে অতি উচ্চ-প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করা সম্ভব ছিল না বলিয়া চৌম্বক পদার্থ ভিন্ন অন্য কোন পদার্থের উপর চৌম্বক প্রভাব প্রত্যক্ষ করা সম্ভব হয় নাই। অতি উচ্চ শক্তিসম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিয়া বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে দেখাইয়াছেন যে, প্রায় সকল পদার্থই চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা কম-বেশি প্রভাবিত হয়। চৌম্বক ধর্মের ভিত্তিতে তিনি পদার্থকে তিনটি ভাগে ভাগ করেন। যথা : (i) পরাচৌম্বক (paramagnetic) পদার্থ, (ii) তিরশ্চৌম্বক (diamagnetic) পদার্থ এবং (iii) অম্রশ্চৌম্বক (ferromagnetic) পদার্থ।

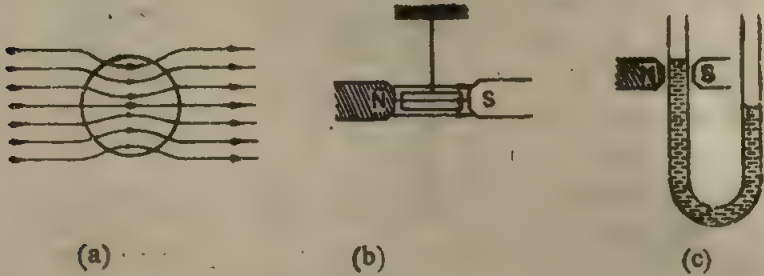
(i) পরাচৌম্বক পদার্থ : কতকগুলি পদার্থ চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা আকৃষ্ট হয়। এই সকল পদার্থকে অসম (non-uniform) চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে উহারা নিম্নতর প্রাবল্যের অঞ্চল হইতে উচ্চতর প্রাবল্যের অঞ্চলের দিকে আকর্ষণ অনুভব করে। এইরূপ পদার্থকে পরাচৌম্বক পদার্থ বলা হয়। বায়ু, প্র্যাটিনাম, সোডিয়াম, অক্সিজেন লৌহঘটিত ও নিকেলঘটিত বিভিন্ন লবণ ইত্যাদি পরাচৌম্বক পদার্থের দৃষ্টান্ত।

(a) ইহাদের চৌম্বক ভেদ্যতার মান 1 অপেক্ষা বেশি, অর্থাৎ  $\mu > 1$  এবং চৌম্বক প্রবণতা ধনাত্মক, অর্থাৎ  $\chi > 0$ । কোন পরাচৌম্বক পদার্থকে শূন্যস্থানে বা বায়ুতে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করিলে চৌম্বক আবেশ রেখাগুলি ইহার অভ্যন্তরে অধিকতর ঘনভাবে সমীকৃত হয় [ চিত্র 3.11 (a) ]।

(b) পরাচৌম্বক পদার্থের একটি পাতলা দণ্ডকে শক্তিশালী তড়িৎ-চুম্বকের শঙ্কু আকৃতির মেয়ুদ্বয়ের মাঝখানে বুলাইয়া দিলে দণ্ডটি ছুরিয়া গিয়া চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখী হইয়া দাঁড়াইবে [ চিত্র 3.11 (b) ]।



(c) একটি U-নলে পরাচৌম্বক ধর্মী তরল চালিলে উহার দুই বাহুতে তরল একই লেভেলে থাকিবে। এইবার U-নলের যে-কোন একটি বাহুকে শক্তিশালী তড়িৎ-চুম্বকের মেবুজের মধ্যে এমনভাবে রাখা হইল বাহাতে ঐ বাহুর তরলের উপরিভাগ

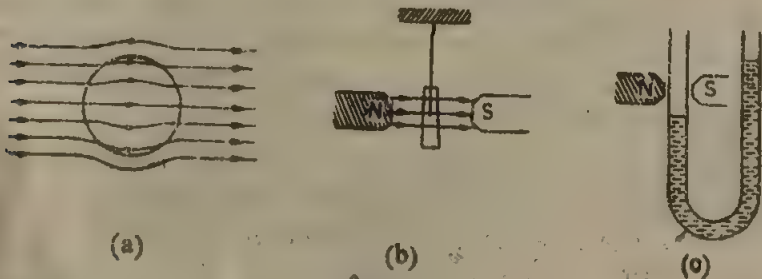


চিত্র 3.11

মেবুজের মাঝামাঝি থাকে। এইবার লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, U-নলের যে-বাহুটিকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা হইয়াছে সেই বাহুর তরলের উচ্চতা অপর বাহুর তরলের উচ্চতা অপেক্ষা বেশি হইয়াছে [ চিত্র 3.11 (c) ]।

(d) পরাচৌম্বক ধর্মী পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা উহার পরম উষ্ণতার সহিত ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়; অর্থাৎ  $\chi \propto \frac{1}{T}$ । ইহাকে কুরী সূত্র বলা হয়। একটি নির্দিষ্ট উচ্চ উষ্ণতায় ইহার চৌম্বক প্রবণতা ( $\chi$ ) শূন্যমান্বক হয় অর্থাৎ পরাচৌম্বক পদার্থ তির্য্চৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়।

(ii) তির্য্চৌম্বক পদার্থ : চৌম্বক ক্ষেত্রে কতকগুলি পদার্থের আচরণ পরা-চৌম্বক পদার্থের আচরণের ঠিক বিপরীত। অর্থাৎ, ইহারা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিকর্ষিত হয়। ইহাদিগকে তির্য্চৌম্বক পদার্থ বলা হয়। জল, দস্তা, অ্যান্টিমনি, বিসমাথ, বিভিন্ন জৈব পদার্থ প্রভৃতি তির্য্চৌম্বক পদার্থ। সাধারণভাবে তির্য্চৌম্বক পদার্থ-গুলির উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব পরাচৌম্বক পদার্থের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব অপেক্ষা প্রবলতর। একমাত্র বিসমাথই এই সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম।



চিত্র 3.12

(a) তির্য্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা 1 অপেক্ষা কম, অর্থাৎ  $\mu < 1$  এবং চৌম্বক প্রবণতা শূন্যমান্বক, অর্থাৎ  $\chi < 0$ । কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি তির্য্চৌম্বক পদার্থ

স্থাপন করিলে উহার মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার ঘনত্ব শূন্যস্থান বা বাহুর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার ঘনত্ব অপেক্ষা কম হয় [ চিত্র 3.12 (a) ]।

(b) তির্যকচৌম্বক পদার্থের একটি পাতলা দণ্ডকে একটি শক্তিশালী তড়িৎ-চুম্বকের শব্দু আকৃতির মেরুধরের মাঝামাঝি বুলাইয়া দিলে দেখা যাইবে যে, দণ্ডটি ঘুরিয়া গিয়া চৌম্বক ক্ষেত্রের লম্বাভিমুখী হইয়াছে [ চিত্র 3.12 (b) ]।

(c) একটি U-নলে তির্যকচৌম্বক তরল লইয়া ইহার একটি বাহুকে কোন শক্তিশালী তড়িৎ-চুম্বকের মেরুধরের মাঝখানে রাখা হইল বাহাতে ঐ বাহুর তরলের উপরিভাগ মেরুধরের মাঝামাঝি থাকে। তড়িৎ-চুম্বকের কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে মেরুধরের মধ্যে উক্ত প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হইবে। এই সময়ে দেখা যাইবে যে, তির্যকচৌম্বক তরল চৌম্বক ক্ষেত্র-কর্তৃক বিকষিত হইয়া নিচে নামিয়া গিয়াছে এবং U-নলের দুই বাহুর তরলের লেভেলের পার্থক্য সৃষ্টি হইয়াছে [ চিত্র 3.12 (c) ]।

(iii) **অমর্যচৌম্বক পদার্থ** : এই পদার্থগুলিও পরাচৌম্বক পদার্থের ন্যায় চৌম্বক ক্ষেত্র-কর্তৃক আকৃষ্ট হয়। পার্থক্য এই যে, অমর্যচৌম্বক পদার্থগুলির উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের আকর্ষণ অতি প্রবল। লোহা, নিকেল, কোবাল্ট, ইস্পাত ইত্যাদি পদার্থগুলি অমর্যচৌম্বক পদার্থের দৃষ্টান্ত।

এই সকল পদার্থের ভেদ্যতা 1 অপেক্ষা অনেক বেশি, অর্থাৎ  $\mu \gg 1$  এবং ইহাদের চৌম্বক প্রবণতা ধনাত্মক এবং উচ্চমানের। কাজেই অমর্যচৌম্বক পদার্থ আবেশের ফলে চুম্বকে পরিণত হইতে পারে। অমর্যচৌম্বক পদার্থ কঠিন ও স্ফটিকাকার (crystalline)। ইহাদের চুম্বক-ধারণ-ক্ষমতা (retentivity) রহিয়াছে। অর্থাৎ, চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে অমর্যচৌম্বক পদার্থে চুম্বকত্ব আবিষ্ট হইলে আবেশী চৌম্বক ক্ষেত্র সরাইয়া লইলেও উহাতে কিছুটা চুম্বকত্ব থাকিয়া যায়। পরাচৌম্বক বা তির্যকচৌম্বক পদার্থের এইরূপ চুম্বক-ধারণ-ক্ষমতা নাই।

অমর্যচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক প্রবণতাও মোটামুটিভাবে উহার পরম উষ্ণতার ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ, উষ্ণতা বাড়াইলে এই পদার্থের ভেদ্যতা ও চৌম্বক প্রবণতা কমিতে থাকে, এবং একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার পৌঁছিলে অমর্যচৌম্বক পদার্থের অমর্যচৌম্বক-ধর্ম (ferromagnetic properties) লুপ্ত হয় এবং ইহারা পরাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়। এই সঙ্কট উষ্ণতাকে কুরী বিন্দু (Curie point) বলা হয়। নিকেলের কুরী বিন্দু  $360^\circ\text{C}$  বলিতে বুঝায় যে,  $360^\circ\text{C}$  উষ্ণতার নিকেলের অমর্যচৌম্বক-ধর্ম লুপ্ত হয় এবং উহা পরাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়।

উপরের আলোচনা হইতে অমর্যচৌম্বক পদার্থ, পরাচৌম্বক পদার্থ এবং তির্যকচৌম্বক পদার্থের যে-পার্থক্যগুলি বুঝা গেল পরগুণায় তাহা তালিকার আকারে দেওয়া হইল।

অয়শ্চৌম্বক পদার্থ	পরাচৌম্বক পদার্থ	তিরশ্চৌম্বক পদার্থ
(1) অসম-চৌম্বক ক্ষেত্রে নিম্নতর প্রাবল্যের অঞ্চল হইতে উচ্চতর প্রাবল্যের অঞ্চলের দিকে তাঁর আকর্ষণ অনুভব করে। ফলে, চুম্বকের দিকে প্রবলভাবে আকৃষ্ট হয়।	(1) অসম-চৌম্বক ক্ষেত্রে নিম্নতর প্রাবল্যের অঞ্চল হইতে উচ্চতর প্রাবল্যের দিকে ক্ষীণ আকর্ষণ অনুভব করে। ফলে চুম্বকের দিকে ক্ষীণভাবে আকৃষ্ট হয়।	(1) অসম-চৌম্বক ক্ষেত্রে উচ্চতর প্রাবল্যের অঞ্চল হইতে নিম্নতর প্রাবল্যের দিকে আকর্ষণ অনুভব করে। ফলে তিরশ্চৌম্বক পদার্থ চুম্বক-কর্তৃক বিকর্ষিত হয়।
(2) অয়শ্চৌম্বক পদার্থের দণ্ড আপন দৈর্ঘ্যকে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে স্থাপন করে।	(2) পরাচৌম্বক পদার্থের দণ্ড আপন দৈর্ঘ্যকে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে স্থাপন করে।	(2) তিরশ্চৌম্বক পদার্থের দণ্ড আপন দৈর্ঘ্যকে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বে স্থাপন করে।
(3) অয়শ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা উচ্চমানের। অর্থাৎ, $\mu \gg 1$ ।	(3) পরাচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা এক অপেক্ষা বেশি ( $\mu > 1$ ); তবে অয়শ্চৌম্বক পদার্থের মত উচ্চমানের নয়।	(3) তিরশ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা এক অপেক্ষা কম। অর্থাৎ, $\mu < 1$ ।
(4) ইহার চৌম্বক প্রবণতা ( $X$ ) ধনাত্মক এবং উচ্চমান সম্পন্ন।	(4) ইহার চৌম্বক প্রবণতা ( $X$ ) ধনাত্মক, তবে নিম্ন মানসম্পন্ন।	(4) ইহার চৌম্বক প্রবণতা ( $X$ ) ঋণাত্মক।
(5) অয়শ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা ( $X$ ) মোটো-মুটিভাবে উহার পরম উষ্ণতার ব্যস্তানুপাতিক।	(5) পরাচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা ( $X$ ) উহার পরম-উষ্ণতার ব্যস্তানুপাতিক।	(5) তিরশ্চৌম্বক পদার্থের $X$ -এর মান উষ্ণতা-নিরপেক্ষ।
(6) একটি নির্দিষ্ট কুরী বিন্দু আছে।	(6) কুরী বিন্দু নাই।	(6) কুরী বিন্দু নাই।
(7) অয়শ্চৌম্বক পদার্থ কঠিন এবং কেসাস-দ্বারা গঠিত (crystalline)।	(7) কঠিন, তরল এবং গ্যাসীয়—যে কোন অবস্থায় থাকিতে পারে।	(7) কঠিন, তরল এবং গ্যাসীয় যে-কোন অবস্থায় থাকিতে পারে।
(8) অয়শ্চৌম্বক পদার্থের চুম্বকত্ব-ধারণ-ক্ষমতা (retentivity) আছে।	(8) পরাচৌম্বক পদার্থের চুম্বকত্ব-ধারণ-ক্ষমতা নাই।	(8) তিরশ্চৌম্বক পদার্থের চুম্বকত্ব-ধারণ-ক্ষমতা নাই।

## সার-সংক্ষেপ

নিঃসঙ্গ চুম্বক-মেরুর অস্তিত্ব নাই। চুম্বকের উত্তর-মেরু এবং দক্ষিণ-মেরুকে বিচ্ছিন্ন করা যায় না। ওয়েবারের মতানুসারে, চুম্বকত্ব চৌম্বক পদার্থের আণবিক ধর্ম। চৌম্বক পদার্থের প্রতিটি পদার্থই চুম্বক। এই অণুগুলি বিশেষভাবে সজ্জিত হইলে চৌম্বক

পদার্থে চুম্বকত্ব সঞ্চারিত হইতে পারে। ওয়েবারের মতবাদ অনুসারে, চৌম্বক আবেশ ক্রিয়ার এবং চুম্বকের সাহায্যে চৌম্বক পদার্থের দ্বারা চুম্বক তৈরির ব্যাখ্যা পাওয়া যায়। ওয়েবারের তত্ত্বানুসারে চৌম্বক সম্পৃক্তির কারণও ব্যাখ্যা করা যায়।

কোন মাধ্যমে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্ব (B) এবং চৌম্বক ক্ষেত্র H-এর সম্পর্কটি নিম্নরূপ :

$$B = H + 4\pi I \quad \dots (i)$$

এখানে I হইল আবিষ্ট চৌম্বক-মাত্রা।

$$\text{সংজ্ঞানুসারে, চৌম্বক প্রবণতা, } \chi = \frac{I}{H}$$

$$\text{এবং চৌম্বক ভেদ্যতা, } \mu = \frac{B}{H}$$

$$\mu \text{ এবং } \chi\text{-এর সম্পর্কটি এইরূপ : } \mu = 1 + 4\pi\chi$$

যে-পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা বেশি সেইরূপ পদার্থের তৈয়ারী কোন পদার্থের সাহায্যে কোন স্থানকে ঘিরিয়া রাখিলে ঐ স্থানে বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব থাকে না। এই প্রক্রিয়াকে চৌম্বক আচ্ছাদন বলা হয়।

চৌম্বক ধর্মের ভিত্তিতে চৌম্বক পদার্থকে তিনটি শ্রেণীতে ভাগ করা যায়—(i) পরাচৌম্বক (paramagnetic) পদার্থ, (ii) অয়শ্চৌম্বক (ferromagnetic) পদার্থ এবং (iii) তিরশ্চৌম্বক (diamagnetic) পদার্থ।

### প্রশ্নাবলী 3

#### হুম্বোল্ডের প্রশ্নাবলী

1. একটি চুম্বককে ভাঙিয়া একাধিক চুম্বক তৈয়ারী করা যায়। ব্যাখ্যা কর।
2. 'চুম্বকত্ব একটি আণবিক ধর্ম।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।
3. 'চুম্বকের দুই মেরু বিচ্ছিন্ন করা যায় না।' ইহার কারণ কী?
4. ধনাত্মক তড়িদাধান ও ঋণাত্মক তড়িদাধান পৃথকভাবে পাওয়া যায়, কিন্তু একটি উত্তর-মেরু বা একটি দক্ষিণ-মেরু পৃথকভাবে পাওয়া যায় না কেন? ব্যাখ্যা কর।
5. স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে কাঁচা লোহা উপযুক্ত নয় কেন?
6. স্থায়ী চুম্বক প্রস্তুত করিবার জন্য ইস্পাত না লোহা—কোনটি ব্যবহার করিবে এবং কেন?  
[উচ্চ মাধ্যমিক (শশিচন্দ্রবদ্র), 1986]
7. ঘর্ষণের সাহায্যে শক্তিশালী চুম্বক নির্মাণ করিতে হইলে অনেকগুলি পাতলা পাতকে চুম্বকে পরিণত করিয়া উহাদিগকে পাশাপাশি রাখিয়া একত্রে জুড়িয়া দেওয়া হয় কেন?
8. একটি দণ্ডচুম্বককে ভাঙিয়া খণ্ড খণ্ড করিতে থাকিলে তুমি কী লক্ষ্য করিবে? ইহা হইতে তুমি কী সিদ্ধান্তে আসিতে পার?
9. দুইটি পদার্থ A এবং B-এর চৌম্বক ভেদ্যতা (magnetic permeability) যথাক্রমে I অপেক্ষা সামান্য বেশি এবং সামান্য কম। এই পদার্থ দুইটি চৌম্বক পদার্থের কোন শ্রেণীর অন্তর্ভুক্ত?



10. বৈদ্যুতিক ঘন্টার তড়িৎচুম্বক তৈয়ারী করিতে ইল্পাত ব্যবহার করিলে কী অসুবিধা হইবে ?

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

11. (a) চুম্বকের আণবিক তত্ত্ব সংক্ষেপে বিবৃত কর।

(b) কুরী বিন্দু বলিতে কী বুঝ ? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]

(c) চৌম্বক ভেদ্যতা এবং চৌম্বক প্রবণতা বলিতে কী বুঝ ?

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1986]

12. 'নিঃসঙ্গ চুম্বক-মেরুর অস্তিত্ব নাই'—উক্তিটি ব্যাখ্যা কর। চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত আলোচনা কর।

13. (a) চুম্বকত্বকে চৌম্বক পদার্থের আণবিক ধর্ম মনে করিবার কারণ কী ?

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978, 1980]

(b) চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চৌম্বক আবেশ প্রক্রিয়াটি ব্যাখ্যা কর। চৌম্বক সম্পৃক্তি কাহাকে বলে। চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব হইতে চৌম্বক সম্পৃক্তির কারণ ব্যাখ্যা করা যায় কী ?

14. চৌম্বক পদার্থের অণুগুলি চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে কেন ? আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চৌম্বক আবেশ, ঘর্ষণের সাহায্যে চুম্বকণ ও চৌম্বক সম্পৃক্তির ব্যাখ্যা কর।

15. (a) চুম্বকের আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে ঘর্ষণশীলতা চুম্বকত্বের ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980, 1982] (b) অরৈশ্মিক, তিরশ্চৌম্বক ও পরাচৌম্বক পদার্থ বলিতে কী বুঝ ? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982]

16. চৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা, চৌম্বক প্রবণতা, চুম্বকত্ব-ধারণ-ক্ষমতা ও নিগ্রহ-সহনশীলতা বলিতে কী বুঝ ?

17. চৌম্বক ধর্মের ভিত্তিতে পদার্থকে কয় ভাগে বিভক্ত করা যায় ? এই পদার্থগুলির ধর্মের পার্থক্য লইয়া আলোচনা কর।

18. চৌম্বক আবেশ রেখা কাহাকে বলে ? দেখাও যে, চৌম্বক আবেশ ভেক্টর (B), চুম্বকণ-মাত্রা I এবং তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য H-এর মধ্যে নিম্নরূপ সম্পর্ক রহিয়াছে—

$$B = \mu_0 (H + NI)$$

19. চৌম্বক ভেদ্যতা কাহাকে বলে ? চৌম্বক ভেদ্যতার সহিত চৌম্বক প্রবণতার সম্পর্ক কী ?

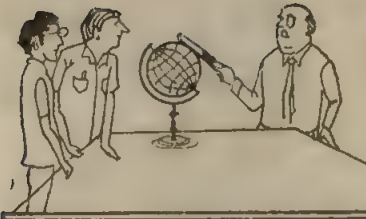
20. চৌম্বক আচ্ছাদন কাহাকে বলে ? একটি পরীক্ষার সাহায্যে দেখাও যে, কোন চৌম্বক পদার্থকে অতিক্রম করিয়া বাইতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য খর্ব হয়।

21. চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্বের সংক্ষেপে ব্যাখ্যা কর। পরাচৌম্বক ও তিরশ্চৌম্বক পদার্থের মধ্যে পার্থক্য কী। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

22. পরাচৌম্বক, তিরশ্চৌম্বক ও অরৈশ্মিক পদার্থের পার্থক্যগুলি উল্লেখ কর। কয়েকটি পরীক্ষার সাহায্যে পরাচৌম্বক ও তিরশ্চৌম্বক পদার্থের ধর্মের পার্থক্য দেখাও।

23. নিম্নের বিষয়গুলির উপর টীকা লিখ :

(i) চৌম্বক ভেদ্যতা, (ii) চৌম্বক প্রবণতা, (iii) চুম্বকত্ব-ধারণ-ক্ষমতা, (iv) নিগ্রহ-সহনশীলতা, (v) কুরী বিন্দু, (vi) ওয়েবার তত্ত্ব।



## ভূ-চুম্বকত্ব

*Science cannot determine origin, and so cannot determine destiny.*  
—T. T. Munger

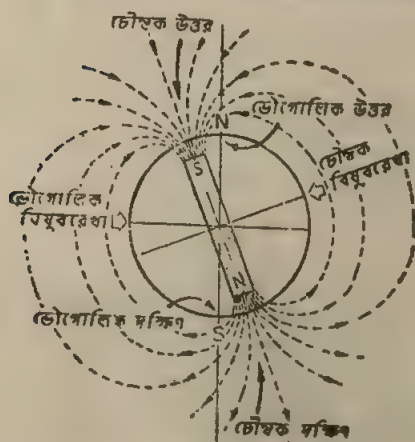
### 4.1 পৃথিবীর চৌম্বক প্রভাব

পৃথিবীর যে-কোন স্থানে একটি দণ্ড-চুম্বককে মুক্ত অবস্থায় ঝুলাইয়া দিলে চুম্বকটি মোটামুটি উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া স্থির হয়। চুম্বকটিকে নাড়াইয়া দিলে কিছুক্ষণ দোল খাইয়া চুম্বকটি পুনরায় পূর্বের ন্যায় উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া দাঁড়ায়। পৃথিবীর সর্বত্রই একটি অদৃশ্য প্রভাব চুম্বকের উপর ক্রিয়া করিয়া ইহার একটি মেরুকে উত্তর দিকে এবং অপর মেরুকে দক্ষিণ দিকে আকর্ষণ করিতেছে। ইহা লক্ষ্য করিয়া 1600 খ্রিস্টাব্দে ইংরেজ চিকিৎসক ডঃ গিলবার্ট এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক। ডঃ গিলবার্ট তাঁহার এই সিদ্ধান্তের সত্যতা প্রতিষ্ঠার জন্য নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন। তিনি একটি গোলাকৃতি চুম্বক তৈয়ারী করিয়া ছোট ছোট চুম্বককে উহার নিকট রাখিয়া দেখান যে, উহাদের আচরণ পৃথিবী-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে অবস্থিত চুম্বকের ন্যায়। তাহা ছাড়া, ইহাও দেখা গিয়াছে যে, একটি লৌহদণ্ডকে উত্তর-দক্ষিণ বরাবর বহুদিন ধরিয়া রাখিয়া দেওয়া হইলে ঐ দণ্ডে ক্ষীণ চুম্বকত্বের উদ্ভব হয়। ইহা হইতেও প্রমাণিত হয় যে, পৃথিবী একটি চুম্বক।

সাধারণ চুম্বকের ন্যায় পৃথিবী-চুম্বকেরও দুইটি মেরু আছে। পৃথিবীর একটি চুম্বক-মেরু কানাডার বোথিয়া ফেলিস অঞ্চলে। ভৌগোলিক উত্তর-মেরু হইতে ইহার দূরত্ব প্রায় 1500 মাইল। পৃথিবী-চুম্বকের আর একটি মেরু দক্ষিণ ভিক্টোরিয়া অঞ্চলে অবস্থিত। ভৌগোলিক দক্ষিণ-মেরু হইতে ইহার দূরত্ব প্রায় 1400 মাইল।

চুম্বকের যে-মেরু উত্তর দিকে মুখ করিয়া থাকে তাহাকে উত্তর-সম্মানী মেরু (north-seeking pole) বা সংক্ষেপে কেবল উত্তর-মেরু বলা হয়। অনুরূপভাবে, চুম্বকের যে-মেরু দক্ষিণ দিকে মুখ করিয়া সাম্যাবস্থায় আসে তাহাকে দক্ষিণ-সম্মানী মেরু বা দক্ষিণ মেরু বলা হয়। কোন চুম্বকের উত্তর-সম্মানী মেরু বা উত্তর-মেরু পৃথিবীর উত্তর-মেরুর দিকে আকৃষ্ট হয় বলিয়াই ইহা উত্তরমুখী হইয়া স্থির অবস্থায় আসে। কাজেই বলা যায়, পৃথিবীর উত্তর-মেরুর চৌম্বক ধর্ম কোন চুম্বকের উত্তর-মেরুর চৌম্বক-ধর্মের বিপরীত, কেননা চুম্বকের বিপরীত মেরুই পরস্পরকে আকর্ষণ করে। পৃথিবীর উত্তর-মেরু এবং চুম্বকের উত্তর-মেরু একই চৌম্বক ধর্মবিশিষ্ট নয় বলিয়া পৃথিবীর মেরুদ্বয়ের একটি বিকম্প নামকরণ হইয়াছে। পৃথিবীর উত্তর-মেরুকে বলা হয় নীল মেরু (blue pole) এবং পৃথিবীর দক্ষিণ-মেরুকে বলা হয় লাল মেরু (red pole)।

পৃথিবীর দুইটি চুম্বক-মেরু ইহার একটি ব্যাসের দুই বিপরীত প্রান্তে অবস্থিত নয়। কেননা পৃথিবী-চুম্বকের দুই মেরু যোগ করিয়া যে-সরলরেখা পাওয়া যায় তাহা পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে 750 মাইল দূর দিয়া যায়।



চিত্র 4.1

এবং ভৌগোলিক ও বিষুবরেখা দেখান হইয়াছে।

উল্লম্বতলে অবধে ঘুরিতে পারে এইরূপ একটি চুম্বক-শলাকাকে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে উহার আচরণ কীরূপ হইবে তাহা 4.2 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর-মেরুতে (A-অবস্থানে) চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুটি উপরের দিকে এবং পৃথিবীর চৌম্বক দক্ষিণ-মেরুতে চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুটি নিচের দিকে থাকে। চৌম্বক-বিষুব রেখার যে-কোন স্থানে চুম্বক-শলাকা অনুভূমিক অবস্থান থাকে।



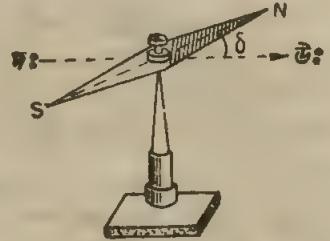
চিত্র 4.2

## 4.2 পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র সম্বন্ধীয় মূলরাশি (Elements of earth's magnetic field)

পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য সর্বত্র এক নহে; বিভিন্ন স্থানে ইহার মান ও অভিমুখ বিভিন্ন। যে-সকল রাশির সাহায্যে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন স্থানের প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ বর্ণনা করা যায় উহাদিগকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র সম্বন্ধীয় মূল-রাশি বলা হয়। ইহার সংখ্যায় তিনটি; যথা—(i) বিচ্যুতি কোণ (angle of declination), (ii) বিনতি কোণ (angle of dip) এবং (iii) ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের

অনুভূমিক উপাংশ (horizontal component of earth's magnetic intensity)। নিয়ে উহাদের সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করা হইল।

(i) বিচ্যুতি কোণ : অনুভূমিক তলে অবাধে ঘুরিতে পারে এইরূপ একটি চুম্বক-শলাকাকে কোন স্থানে রাখিলে উহা মোটামুটি উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া থাকে। সূক্ষ্ম-ভাবে লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে, উহার অক্ষ ঠিক ভৌগোলিক উত্তর দক্ষিণ রেখার সহিত সমাপতিত অবস্থায় থাকে না। কোন চুম্বক-শলাকার চৌম্বক-অক্ষ কোন স্থানে সাম্যাবস্থায় যে-উল্লম্বতলে অবস্থান করে তাহাকে ঐ স্থানের চৌম্বক মধ্যতল (magnetic meridian) বলা হয়। কোন স্থানের ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণ রেখার মধ্য দিয়া যে-উল্লম্ব তল কল্পনা করা যায় তাহাকে ঐ স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল (geographical meridian) বলা হয়। অবাধে ঘূর্ণনক্ষম চুম্বক-শলাকার অক্ষ সাম্যাবস্থায় উত্তর-দক্ষিণ রেখার উপর না থাকিবার তাৎপর্য এই যে, কোন স্থানের চৌম্বক মধ্যতল এবং ভৌগোলিক মধ্যতল পরস্পর সমাপতিত (coincident) থাকে না। কোন স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতল পরস্পরের সহিত যে-কোণ করিয়া থাকে তাহাকে ঐ স্থানের বিচ্যুতি কোণ বলা হয়। অর্থাৎ চুম্বক-শলাকাটি অনুভূমিক তলে কোন স্থানে সাম্যাবস্থায় থাকিলে চুম্বক-শলাকার অক্ষ ঐ স্থানের উত্তর-দক্ষিণ রেখার সহিত যে-কোণ করিবে তাহাই ঐ স্থানের বিচ্যুতি কোণের পরিমাপ। 4.3 নং চিত্রে বিচ্যুতি কোণকে  $\theta$  অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।



চিত্র 4.3

যে-স্থানে চৌম্বক ও ভৌগোলিক মধ্যতল পরস্পর সমাপতিত হয় সেই স্থানের বিচ্যুতি কোণের মান শূন্য হইবে। চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুটি যদি ভৌগোলিক অক্ষের পশ্চিমে থাকে তাহা হইলে বিচ্যুতি কোণ পশ্চিমমুখী এবং চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুটি যদি ভৌগোলিক অক্ষের পূর্বে থাকে তাহা হইলে বিচ্যুতি কোণ পূর্বমুখী বলা হয়।

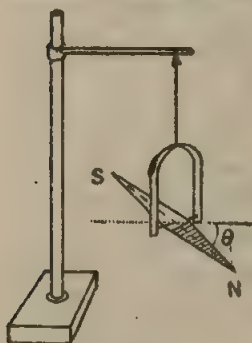
‘কলিকাতায় বিচ্যুতি কোণ  $\frac{1}{2}^\circ$  East’ বলিতে বুঝায় যে, কলিকাতায় অবাধে ঘূর্ণনক্ষম একটি চুম্বক-শলাকা অনুভূমিক তলে সাম্যাবস্থায় আসিলে উহার অক্ষ স্থানীয় ভৌগোলিক অক্ষ বা উত্তর-দক্ষিণ রেখার সহিত  $\frac{1}{2}^\circ$  কোণ করিয়া থাকে এবং চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুটি ভৌগোলিক অক্ষের পূর্বাধিকে অবস্থান করে।

নাবিক, জমি-জরিপকারী (surveyors) ও অন্য যাহারা দিক-নির্ণয়ের জন্য কম্পাসের উপর নির্ভর করেন তাহাদের পক্ষে বিভিন্ন স্থানের বিচ্যুতি কোণের মান নির্ভুলভাবে জানা বিশেষ প্রয়োজন।

(ii) বিনতি কোণ : পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ সাধারণত অনুভূমিক থাকে না। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ স্থানীয় চৌম্বক মধ্যতলে অনুভূমিক রেখার সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে বিনতি কোণ বলে। ভাষান্তরে বলা যায় যে, কোন স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য (I) উহার অনুভূমিক উপাংশ H-এর সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে, তাহাকে ঐ স্থানের বিনতি কোণ বলে।



উল্লম্বতলে অবাধে ঘুরতে পারে এইরূপ একটি চুম্বক-শলাকাকে ভারকেন্দ্র হইতে ঝুলাইয়া

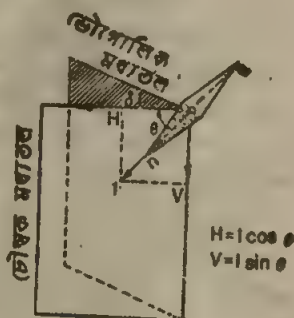


চিত্র 4.4

দিলে (চিত্র 4.4) দেখা যায় যে, সাম্যাবস্থায় চুম্বক-শলাকার অক্ষ অনুভূমিক থাকে না। উত্তর গোলাধে চুম্বক-শলাকাটির উত্তর-মেরু নিচের দিকে এবং দক্ষিণ গোলাধে উপরের দিকে থাকে। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে চুম্বক-শলাকা অনুভূমিক রেখার সহিত বিভিন্ন কোণ করিয়া থাকে। সাম্যাবস্থায় চুম্বক-শলাকাটির অক্ষ চৌম্বক মধ্যতলে অনুভূমিক রেখার সহিত যে-কোণ করে তাহাই বিনতি কোণের পরিমাপ। যে-স্থানে উত্তর-মেরু নিচের দিকে থাকে সেই স্থানের বিনতি কোণকে ধনাত্মক এবং যে-স্থানে দক্ষিণ-মেরু নিচের দিকে থাকে সেই স্থানের বিনতি কোণকে ঋণাত্মক ধরা হয়। ধনাত্মক বিনতি কোণকে N-অক্ষর দ্বারা এবং ঋণাত্মক বিনতি কোণকে S-অক্ষর দ্বারা সূচিত করে। 4.4 নং চিত্রে  $\theta$  বিনতি কোণ নির্দেশ করিতেছে।

‘কলিকাতায় বিনতি কোণ  $31^\circ N$ ’ বলিতে বুঝায় যে, উল্লম্বতলে অবাধে ঘুরিতে পারে এইরূপ একটি চুম্বক-শলাকাকে কলিকাতায় উহার ভার-কেন্দ্র হইতে ঝুলাইয়া দিলে সাম্যাবস্থায় উহার অক্ষ স্থানীয় চৌম্বক মধ্যতলে অনুভূমিক রেখার সহিত  $31^\circ$  কোণ উৎপন্ন করে। এই অবস্থায় চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুটি থাকে নিচের দিকে।

(iii) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য : পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ সাধারণত অনুভূমিক তলে থাকে না। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য একটি ভেক্টর রাশি বলিয়া ইহাকে একাধিক উপাংশে বিভক্ত করা যায়। আমরা জানি, প্রাবল্য (I) চৌম্বক মধ্যতলে অনুভূমিক রেখার সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে তাহাই বিনতি কোণ। 4.5 নং চিত্রে ভৌগোলিক মধ্যতল, চৌম্বক মধ্যতল, বিচ্যুতি কোণ ( $\delta$ ), বিনতি কোণ ( $\theta$ ), অনুভূমিক প্রাবল্য (H) এবং উল্লম্ব প্রাবল্য (V) দেখান হইয়াছে।



চিত্র 4.5

চিহ্নানুসারে, ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য I-এর অনুভূমিক উপাংশ,  $H = I \cos \theta$

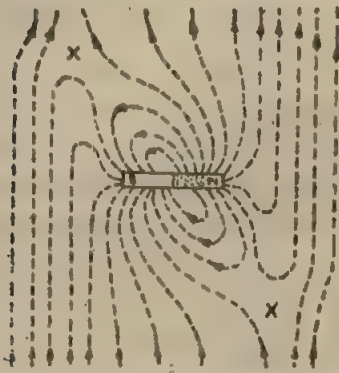
অনুরূপভাবে, ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ,  $V = I \sin \theta$

‘কলিকাতায় পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান 0.37 oersted’ বলিতে বুঝায় যে, কলিকাতায় কোন একক চুম্বক-মেরুর উপর ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের যে-বল প্রয়োগ করে, চৌম্বক মধ্যতলে উহার অনুভূমিক উপাংশের মান হইল 0.37 ডাইন।

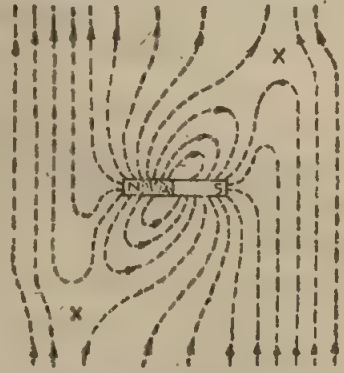
### 4.3 ভূ-চুম্বকের প্রভাবে দণ্ড-চুম্বকের বলরেখার পরিবর্তন

2.6 নং অনুচ্ছেদে যে-চৌম্বক বলরেখার উল্লেখ করা হইয়াছে তাহা দণ্ড-চুম্বকের দুইটি মেরুর বলরেখা। সেক্ষেত্রে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব বিবেচনা করা হয় নাই।

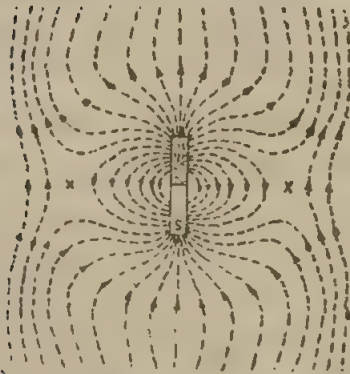
কোন চুম্বকের নিকট কম্পাস কাঁটা আনিলে উহার উপর চুম্বকটির দ্বারা উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র—এই দুইটি চুম্বক ক্ষেত্র যুগপৎ ক্রিয়া করিবে। ফলে আমরা চুম্বকের চারিপাশের বলরেখার যে-মানচিত্র অঙ্কন করি তাহা প্রকৃতপক্ষে দুইটি



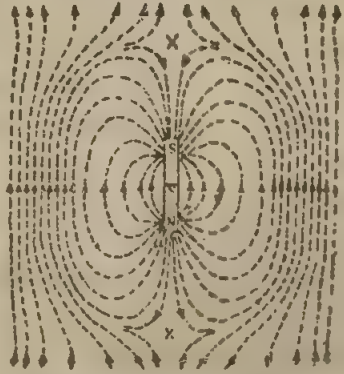
উত্তর মেরু পূর্ব



উত্তর মেরু পশ্চিম



উত্তর মেরু উত্তর



উত্তর মেরু দক্ষিণ

চিত্র 4.6

চৌম্বক ক্ষেত্রের যৌথ ক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন। পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রে বিদ্যমান কোন চুম্বকের চারিপাশে বলরেখার মানচিত্র কীরূপ হইবে তাহা চুম্বকটির অবস্থিতির উপর নির্ভর করে। দণ্ড-চুম্বকের উত্তর-মেরু পূর্ব দিকে, পশ্চিম দিকে, উত্তর দিকে ও দক্ষিণ দিকে মুখ করিয়া থাকিলে চৌম্বক বলরেখাগুলি দেখিতে কীরূপ হইবে তাহা 4.6 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। চৌম্বক ক্ষেত্রের সকল দিকেই বলরেখা থাকে, অর্থাৎ বলরেখার

মানচিত্র প্রকৃতপক্ষে ত্রিমাত্রিক (three-dimensional)। কিন্তু আমরা সাধারণত একটি নির্দিষ্ট সমতলের (সাধারণত অনুভূমিক তলের) চৌম্বক বলরেখাগুলি অঙ্কন করি।

**উদাসীন বিন্দু (Neutral point) :** দুইটি চৌম্বক ক্ষেত্র পরস্পর বিপরীতমুখী ক্রিয়া করিয়া কোন বিন্দুতে পরস্পরের প্রভাব বিনষ্ট করিলে ঐ বিন্দুকে উদাসীন বিন্দু বলা হয়। অর্থাৎ, উদাসীন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান শূন্য। কাজেই পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রে রক্ষিত কোন একটি চুম্বকের নিকটবর্তী কোন বিন্দুতে চুম্বকের নিজস্ব চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য যদি ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সমান ও বিপরীতমুখী হয় তাহা হইলে ঐ স্থানে উদাসীন বিন্দু সৃষ্টি হইবে। 4.6 নং চিত্রে  $\times$ -চিহ্নের সাহায্যে চৌম্বক ক্ষেত্রের উদাসীন বিন্দুগুলির অবস্থান চিহ্নিত করা হইয়াছে।

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

**উদাহরণ 4.1** ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্যের মান 0.372 oersted এবং বিনতি কোণ  $30^\circ N$  হইলে কলিকাতায় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও উহার উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় কর।

**সমাধান :** আমরা জানি যে,  $H = I \cos \theta$ ,

$$\therefore \text{চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য, } I = \frac{0.372}{\cos 30^\circ} = \frac{0.372}{0.866} = 0.43 \text{ oersted}$$

$$\text{আবার, } V = H \tan \theta = 0.372 \tan 30^\circ = 0.215 \text{ oersted}$$

**উদাহরণ 4.2** 10 cm দীর্ঘ একটি চুম্বকের উত্তর-মেরুকে উত্তরমুখী করিয়া উহাকে অনুভূমিকভাবে চৌম্বক মধ্যরেখায় রাখিয়া দেখা গেল যে, চুম্বকের মধ্যবিন্দু হইতে 5 cm দূরে একটি উদাসীন বিন্দু গঠিত হইয়াছে। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান 0.36 oersted হইলে চুম্বকটির মেরুশক্তি নির্ণয় কর।

**সমাধান :** চুম্বকের উত্তর-মেরু উত্তরমুখী বলিয়া উদাসীন বিন্দুটি চুম্বকের প্রস্থমুখী অবস্থানে (broadside-on position) থাকিবে। প্রস্থমুখী অবস্থানে কোন বিন্দুর

$$\text{প্রাবল্য } F = \frac{2ml}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

উদাসীন বিন্দুতে  $F = H$  বলিয়া লেখা যায়,

$$H = \frac{2ml}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{বা, } m = H \times \frac{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}{2l}$$

এখানে,  $d = 5 \text{ cm}$ ,  $l = 5 \text{ cm}$  এবং  $H = 0.36 \text{ oersted}$

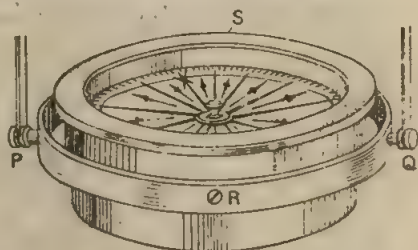
$$\text{বা, } m = 0.36 \times \frac{(5^2 + 5^2)^{\frac{3}{2}}}{2 \times 5} \text{ units} = 12.73 \text{ units}$$

### 4.4 নৌ-কম্পাস (Mariner's Compass) :

সমুদ্রযাত্রের সঠিক দিক-নির্ণয়ের উদ্দেশ্যে নাবিকেরা নৌ-কম্পাস নামক একটি যন্ত্র ব্যবহার করে।

4.7 নং চিত্রে একটি নৌ-কম্পাস অঙ্কিত হইয়াছে। এই যন্ত্রে একটি পাতলা বৃত্তাকার চাকতির নিচে একটি সূচী-চুম্বক লাগান থাকে। চাকতিটির পরিধি অরীয় রেখার (radial lines) সাহায্যে বর্তিশাট সমান ভাগে ভাগ করা থাকে।

এই অরীয় রেখাগুলি বিভিন্ন দিক নির্দেশ করে। এই রেখাগুলি বৃত্তাকার চাকতির পরিধিকে যে-সকল বিন্দুতে ছেদ করে উহাদিগকে কম্পাস-বিন্দু (Points of the compass) বলা হয়। অরীয় রেখাগুলির মধ্যে যে-রেখাটি চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুর



চিত্র 4.7

ঠিক উপরে থাকে উহার অগ্রভাগ একটি মুকুট-চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত করা থাকে।

জাহাজ দুর্লিলেও যাহাতে চুম্বক-শলাকাটি সর্বদা অনুভূমিক তলে থাকিতে পারে সেই উদ্দেশ্যে চাকতি ও চুম্বক-শলাকা একটি গোল বাস্কে বসাইয়া বাস্কটিকে একটি আঁটের সহিত যুক্ত করা হয়। বাস্কটি এই আঁটের ব্যাস-বরাবর দুইটি বিপরীত বিন্দুতে (R, S) এমনভাবে যুক্ত থাকে যাহাতে বাস্কটি R এবং S বিন্দুর সংযোজী সরলরেখাকে অক্ষ করিয়া দুলিতে পারে। এই আঁটটি আবার একটি কাঠের ফ্রেমের সহিত দুইটি বিন্দুতে (P, Q) আটকানো থাকে যাহাতে আঁটটি PQ রেখাকে অক্ষ করিয়া দুলিতে পারে। PQ এবং RS সরলরেখা দুই পরস্পর লম্ব বলিয়া জাহাজ দুর্লিলেও চুম্বক-শলাকা সর্বদা অনুভূমিক অবস্থায় থাকে। চুম্বক-শলাকাকে সর্বদা অনুভূমিক রাখিবার উপরি-উক্ত ব্যবস্থাকে গিমবলের ব্যবস্থা (Gimball's arrangement) বলা হয়।

জাহাজ কোন দিকে চলিতেছে কম্পাস-চাকতির মুকুট-চিহ্নের অবস্থান দেখিয়া নাবিকেরা তাহা সহজেই বুঝিতে পারে।

#### 4.5 চৌম্বক মানচিত্র (Magnetic map)

পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলির মান সমান নয়। তবে, পৃথিবী-পৃষ্ঠের উপর এমন কতকগুলি রেখা কল্পনা করা যায় যাহাদের উপর ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলির যে-কোন একটির মান নির্দিষ্ট থাকে। ইহাদের সাহায্যে পৃথিবী-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্য জানা যায়। এই রেখাগুলিকে চৌম্বক মানচিত্র (magnetic maps) বলা হয়। নাবিকদের পক্ষে এই মানচিত্র বিশেষভাবে প্রয়োজনীয়। এ প্রসঙ্গে উল্লেখ্য যে, পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলি সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয় বলিয়া চৌম্বক মানচিত্রের রেখাগুলিও সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয়। চৌম্বক মানচিত্রে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের তিনটি মূল রাশির আনুমানিক তিন প্রকার রেখা থাকে, যথা—(i) সমবিচ্যুতি রেখা, (ii) সমবিনতি রেখা এবং (iii) সমবল রেখা।

(i) সমবিচ্যুতি রেখা (Isogonic lines or isogonals): পৃথিবী-পৃষ্ঠের যে-সকল স্থানে বিচ্যুতির মান সমান, পৃথিবীর মানচিত্রে সেই সকল স্থান যোগ করিলে



যে-রেখাগুলি পাওয়া যায় উহাদিগকে সমাবচ্যুতি রেখা বলা হয় (চিত্র 4.8)। যে-সকল স্থানে বিচ্যুতির মান শূন্য সেই সকল স্থানের অবস্থান যোগ করিলে যে-রেখা পাওয়া



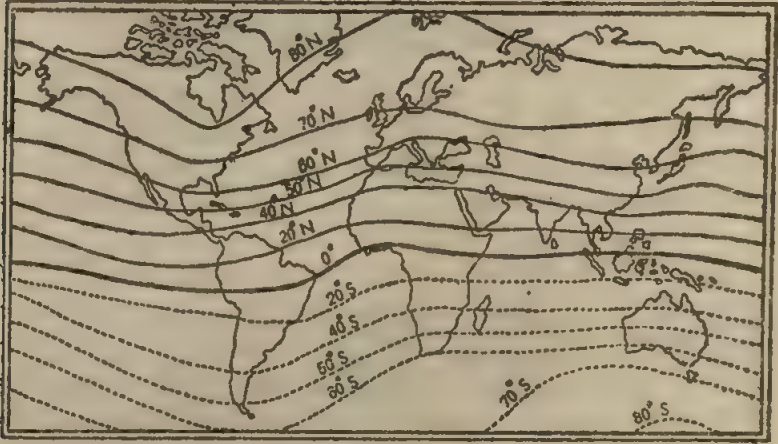
চিত্র 4.8

যায় তাহাকে নির্বিচ্যুতি রেখা (agonic lines) বলা হয়। লক্ষণীয় যে, নির্বিচ্যুতি রেখা সমাবচ্যুতি রেখারই একটি বিশেষ ক্ষেত্র (special case)। পৃথিবীপৃষ্ঠে এইরূপ তিনটি রেখা রহিয়াছে। একটি গিয়াছে উত্তর ও দক্ষিণ আমেরিকার উপর দিয়া, দ্বিতীয়টি গিয়াছে ইউরোপ, আরব সাগর ও অস্ট্রেলিয়ার উপর দিয়া। তৃতীয় নির্বিচ্যুতি রেখাটি উপবৃত্তের আকারে সাইবেরিয়া, চীনের পূর্বাংশ এবং জাপানকে ঘিরিয়া রাখিয়াছে। এই নির্বিচ্যুতি রেখাটিকে সাইবেরীয় উপবৃত্ত (Siberian oval) বলা হয়। যে-সকল স্থানের উপর দিয়া নির্বিচ্যুতি রেখা গিয়াছে সেই সকল স্থানে কম্পাসের কাঁটা যথার্থ ভৌগোলিক উত্তর-দক্ষিণ নির্দেশ করিবে। উল্লেখ করা যাইতে পারে যে, পৃথিবীর ভৌগোলিক উত্তর-মেরু এবং চৌম্বক উত্তর-মেরু যোগ করিলে যে-রেখা পাওয়া যায় সেই রেখার উপর প্রতিটি বিন্দুতে বিচ্যুতি কোণের মান  $180^\circ$  হইবে। অনুরূপভাবে, ভৌগোলিক দক্ষিণ-মেরু এবং চৌম্বক দক্ষিণ-মেরু যোগ করিয়া যে-রেখা পাওয়া যায় সেই রেখার উপরও বিচ্যুতি কোণের মান  $180^\circ$  হইবে।

(ii) সমবিনতি রেখা (Isoclinic lines or isoclinals): পৃথিবীপৃষ্ঠের যে-সকল স্থানে বিনতি কোণের মান সমান, সেই সকল স্থান যোগ করিলে যে-রেখা পাওয়া যায় তাহাকে সমবিনতি রেখা বলা হয় (চিত্র 4.9)। যে-সকল স্থানে বিনতি কোণের মান শূন্য তাহাদিগকে যোগ করিলে যে-রেখা পাওয়া যায় তাহাকে বলা হয় নির্বিনতি রেখা (acclinic line) বা চৌম্বক বিষুব রেখা (magnetic equator)। নির্বিনতি রেখা যে-সকল স্থানের উপর দিয়া গিয়াছে সেই সকল স্থানে উল্লম্বতলে অবাধে ঘুরিতে পারে এইরূপ একটি চুম্বক-শলাকা রাখিলে সাম্যাবস্থার উহার অক্ষ অনুভূমিক হইবে।

(iii) সমবল রেখা (Isodynamic lines): ভূ-পৃষ্ঠের যে-সকল স্থানে ভূ-

চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান সমান তাহাদের সংযোগকারী রেখার নাম সমবল রেখা। পৃথিবীর দুই চৌম্বক-মেরুতে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য উল্লম্বাভিমুখী



চিত্র 4.9

বলিয়া এই দুই স্থানে প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান শূন্য। চৌম্বক বিসুব রেখার ইহার মান সর্বাধিক।

#### 4.6 সময়ের সহিত ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলির পরিবর্তন

কোন স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলি সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয়। এই পরিবর্তন দুই প্রকার, যথা—(a) নিয়মানুগ পরিবর্তন (regular variations) এবং (b) আকস্মিক অনিয়মানুগ পরিবর্তন বা চৌম্বক ঝাঝা (magnetic storm)।

নিয়মানুগ পরিবর্তনগুলিকে আবার কয়েকটি উপাংশে ভাগ করা যায়। যথা—(i) দীর্ঘকালীন পরিবর্তন (secular variation), (ii) বার্ষিক পরিবর্তন (annual variation) এবং (iii) আদ্যিক পরিবর্তন (daily variation)।

(i) দীর্ঘকালীন পরিবর্তন : এই পরিবর্তনের পর্যায়কাল প্রায় 960 বৎসর। লর্ড কেলভিনের মতে পৃথিবীর ভৌগোলিক মেরুর চতুর্দিকে ইহার চৌম্বক মেরুটি ধীরে ধীরে আবর্তিত হইতেছে। এই আবর্তনের পর্যায়কাল প্রায় 960 বৎসর। চৌম্বক মেরুর এই আবর্তনই ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলির দীর্ঘকালীন পরিবর্তনের কারণ।

(ii) বার্ষিক পরিবর্তন : কোন স্থানের বিদ্যুতি কোণের একটি বার্ষিক পরিবর্তনও লক্ষ্য করা যায়। উত্তর ও দক্ষিণ গোলার্ধে এই পরিবর্তন বিপরীতমুখী। এই পরিবর্তনের মান অপেক্ষাকৃত কম।

(iii) আদ্যিক পরিবর্তন : পৃথিবীর আদ্যিক গতির ফলে সূর্যের সাপেক্ষে পৃথিবীর অবস্থান বদলাইতে থাকে। ইহার ফলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলিরও আদ্যিক পরিবর্তন ঘটে। গ্রীষ্মকাল অপেক্ষা শীতকালে আদ্যিক পরিবর্তনের মান কম হয়।

চৌম্বক ঝাঝা : কখনো কখনো পৃথিবীর সকল স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল

রাশিগুলির মান আকস্মিকভাবে বদলাইয়া যায় এবং অতি দ্রুত অনিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হইতে থাকে। ইহাকে চৌম্বক ঝঝা বলা হয়।

### চৌম্বক ক্ষেত্র

পৃথিবী চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। পৃথিবীর উত্তর-দিকে যে-মেরু অবস্থিত তাহা প্রকৃতপক্ষে দক্ষিণ-মেরুধর্মী এবং পৃথিবীর দক্ষিণ-দিকে যে-মেরু অবস্থিত তাহা উত্তর-মেরু-ধর্মী। এইজন্যই চুম্বকের উত্তর-মেরু উত্তর দিকে এবং চুম্বকের দক্ষিণ-মেরু দক্ষিণ-দিকে আকর্ষণ অনুভব করে। পৃথিবীর উত্তর মেরুকে **নীল মেরু** এবং পৃথিবীর দক্ষিণ-মেরুকে **লাল মেরু** বলা হয়।

পৃথিবীর চৌম্বক অক্ষ এবং ভৌগোলিক অক্ষের অন্তর্বর্তী কোণ প্রায়  $11^{\circ}5'$ । পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য সর্বত্র সমান নয়। বিভিন্ন স্থানে ইহার মান এবং অভিমুখ বিভিন্ন। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র সম্পর্কিত মূল রাশি তিনটি—(i) বিচ্যুতি কোণ (angle of declination), (ii) বিনতি কোণ (angle of dip) এবং (iii) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ (horizontal component of earth's magnetic intensity)।

কোন স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল এবং চৌম্বক মধ্যতল পরস্পরের সহিত যে-কোণ করিয়া থাকে তাহাকে ঐ স্থানের **বিচ্যুতি কোণ** বলা হয়।

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ কোন স্থানের চৌম্বক মধ্যতলে অনুভূমিক রেখার সহিত যে-কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে **বিনতি কোণ** বলা হয়।

কোন স্থানের বিনতি কোণ  $\theta$  হইলে এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য  $I$  হইলে ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ

$$H = I \cos \theta$$

অনুরূপভাবে, ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ,

$$V = I \sin \theta = H \tan \theta$$

পৃথিবীপৃষ্ঠের উপর এমন কতকগুলি রেখা কল্পনা করা যায় যাহাদের উপর ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলির যে-কোন একটির মান নির্দিষ্ট থাকে। এই রেখাগুলিকে চৌম্বক মানচিত্র (magnetic maps) বলা হয়। সম বিচ্যুতি রেখাগুলির প্রতিটিতে বিচ্যুতি কোণের মান সমান। যে-সমবিচ্যুতি রেখার প্রতিটি বিন্দুতে বিচ্যুতি কোণের মান শূন্য তাহাকে **নির্বচ্যুতি রেখা** বলা হয়। অনুরূপভাবে, সমবিনতি রেখার প্রতিটি বিন্দুতে বিনতি কোণের মান সমান এবং সমবলরেখার প্রতিটি বিন্দুতে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান সমান।

### প্রশ্নাবলী 4

#### হুম্বোল্ডের প্রশ্নাবলী

1. একটি ক্ষুদ্র চুম্বকে চৌম্বক মধ্যরেখার উপর সমান ঘূর্ণনকক্ষ অবস্থায় ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। পৃথিবীপৃষ্ঠের কোন স্থানে চুম্বকটি উল্লম্ব অবস্থায় থাকিবে?

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট 1976]

2. আংশিকভাবে ভূমিতে প্রোথিত কোন উল্লম্ব স্তম্ভকে বহুবৎসর পর চুম্বকত্ব লাভ করিতে দেখা গেল। উত্তর গোলাধারে স্তম্ভটির শীর্ষে কীরূপ মেরুধর্মের উদ্ভব হইবে?

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1973]

3. কোন চুম্বকের চারিপার্শ্বের চৌম্বক ক্ষেত্রের উদাসীন বিন্দুগুলি চুম্বকের অক্ষ বরাবর গঠিত হইলে চুম্বকটি কীভাবে অবস্থিত? [আই. আই. টি. অ্যার্ডামশন টেস্ট, 1974]

4. পৃথিবীর কোন্ স্থানে বিনতি কোণ  $0^\circ$  এবং কোন্ স্থানে বিনতি কোণ  $90^\circ$ ?

5. দণ্ড-চুম্বকের ক্ষেত্রে চৌম্বক বলরেখা উত্তর মেরু হইতে নির্গত হইয়া দক্ষিণ মেরুতে গিয়া শেষ হয়; কিন্তু ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাগুলি পৃথিবীর দক্ষিণ মেরু হইতে শুরু হইয়া দক্ষিণ মেরুতে গিয়া শেষ হয়। ইহার কারণ কী? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1983]

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

6. (a) বিনতি কোণ-এর সংজ্ঞা দাও এবং একটি সরল চিত্র আঁকিয়া ইহার তাৎপর্য বুঝাইয়া দাও। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1985]

(b) ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের মূল উপাদানগুলি কী কী? চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1984]

7. 'পৃথিবী একটি চুম্বক' এই উক্তির স্বপক্ষে যুক্তি দেখাও। ভৌগোলিক মধ্যতল, চৌম্বক মধ্যতল ও চৌম্বক বিষুব-রেখা বলিতে কী বুঝ?

8. (a) ভূ-চুম্বকত্বের মূল রাশিগুলি কী কী? চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া বল। (b) "কলিকাতায় বিনতি কোণ  $30^\circ N$ "—এই উক্তির ব্যাখ্যা কর।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978, 1980; উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

9. নিম্নের রাশিগুলির সংজ্ঞা দাও:

(i) বিনতি কোণ, (ii) বিচ্যুতি কোণ, (iii) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]. (iv) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র সম্বন্ধীয় তিনটি মূলরাশি। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

10. পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের মূল রাশিগুলির নাম লিখ এবং উহাদের তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978]

11. বিনতি কোণ ও বিচ্যুতি কোণ কাকে বলে? পৃথিবীর কোন্ কোন্ স্থানে বিনতি কোণের মান  $90^\circ$  এবং  $0^\circ$ ? পৃথিবীর কোন্ স্থানে বিচ্যুতি কোণের মান  $180^\circ$ ?

12. চৌম্বক মানচিত্র কাকে বলে? সমবিচ্যুতি রেখা, সমবিনতি রেখা ও সমবল রেখা বলিতে কী বুঝ? নির্বিচ্যুতি রেখা ও নির্বিনতি রেখা কাকে বলে?

13. 'পৃথিবী একটি বিশাল চুম্বক'—এইরূপ মনে করিবার কারণ কী? একটি চিত্রের সাহায্যে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রকৃতি বুঝাইয়া দাও। কোন দণ্ড-চুম্বকের ক্ষেত্রে বলরেখার অভিমুখ উত্তর-মেরু হইতে দক্ষিণ-মেরুর দিকে, কিন্তু পৃথিবীর ক্ষেত্রে বলরেখার অভিমুখ দক্ষিণ হইতে উত্তরের দিকে। এই পার্থক্যের কারণ কী। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1964]

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

14. কলিকাতায় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য  $0.35$  ওয়েস্টেড এবং বিনতি কোণ  $30^\circ N$ ; কলিকাতায় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর। [ $0.40$  Oe (প্রায়)]



15. কোন স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ  $0.36$  সি. জি. এস. একক এবং বিনতি কোণ  $42^\circ$ ; সেই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980] [ $0.484$  সি. জি. এস. একক]

16. কলিকাতায় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ  $0.35$  ওয়বস্টেড্ এবং বিনতি কোণ  $30^\circ$  হইতে কলিকাতার ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981] [ $0.404$  Oe]

17. যে-স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান  $0.285$  oersted এবং বিনতি কোণ  $30^\circ$  সেই স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান কত? [ $0.33$  oersted]

18. কোন স্থানের বিনতি কোণের মান  $45^\circ$  এবং পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান  $0.2$  oersted। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উল্লম্ব উপাংশের মান কত? [ $0.282$  oersted]

19. যদি কোন স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ  $0.75$  oersted এবং উল্লম্ব উপাংশ  $0.25$  oersted হয় তাহা হইলে ঐ স্থানে বিনতি কোণ ও ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের লব্ধি প্রাবল্যের মান কত হইবে নির্ণয় কর। [ $18.4^\circ$ ,  $0.8$  oersted]

20. কোন স্থানের বিচ্যুতি কোণ  $20^\circ$ । ঐ স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ ও উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় কর। দেওয়া আছে যে,  $H = 0.2$  oersted এবং ঐ স্থানের বিনতি কোণ  $= 60^\circ$ ।

[উত্তর সংক্ষেপত : এখানে  $H = 0.2$  oersted, বিনতি কোণ,  $\theta = 60^\circ$  এবং বিচ্যুতি কোণ,  $\delta = 20^\circ$ ।

ভৌগোলিক মধ্যতলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ  $= H \cos \delta = 0.188$  oersted এবং ভৌগোলিক মধ্যতলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ  $= H \tan \theta = 0.346$  oersted]

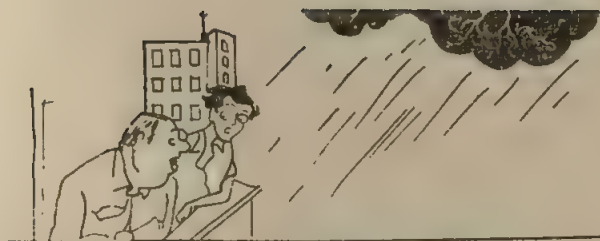
21. যদি কোন চৌম্বক মেরু N-কে একক মেরুশক্তিসম্পন্ন অপর একটি মেরু হইতে ব্যস্তে  $4$  cm দূরে রাখা হয় তবে উহার উপর  $20$  ডাইন বল ক্রিয়া করে। ঐ মেরুকে অন্য একটি স্থানে রাখিলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের দরুন উহার উপর  $48$  ডাইন বল ক্রিয়া করে। ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত? [ $0.75$  oersted]

### ভাটিলতর গাণিতিক প্রদ্রাবলী

22.  $M_1$  এবং  $M_2$  সমান দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দুইটি দণ্ড-চুম্বক।  $M_1$  চুম্বকের মেরুশক্তি  $M_2$  চুম্বকের মেরুশক্তির দ্বিগুণ। চুম্বক দুইটির উত্তর-মেরুদ্বয়কে সংস্পর্শে রাখিয়া ইহাদিগকে পরস্পরের সাহিত সমকোণে আটকানো হইল। এই সংস্থাপটিকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রে মুক্তভাবে চমকনক্ষর একটি ভাসমান কর্কের উপর স্থাপন করা হইলে সাম্যাবস্থায়  $M_1$  চুম্বকটি চৌম্বক মধ্যতলের সাহিত কত কোণ করিবে তাহা নির্ণয় কর। [ $26.6^\circ$  (প্রায়)]

23.  $12$  cm চৌম্বক দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এবং  $25$  সি. জি. এস. একক মেরুশক্তিবিশিষ্ট একটি দণ্ড-চুম্বককে কোন স্থানে চৌম্বক মধ্যতল বরাবর এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে উত্তর-মেরুটি উত্তরমুখা হইয়া থাকে। যদি ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ  $0.30$  Oe হয় তাহা হইলে উদাসীন বিন্দুগুলির অবস্থান নির্ণয় কর।

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1982] [লব-স্থিতিগুলির উপর এবং মধ্যবিন্দু হইতে  $8$  cm দূরে]



## স্থির তড়িৎ

*Knowledge always desires increase ; it is like fire, which must first be kindled by some external agent, but which will afterward propagate itself.*

—Johnson





## তড়িৎ ও ইহার ধর্ম

*Every branch of knowledge which a good man possesses,  
he may apply to some good purpose.* —C. Buchanan

### 1.1 ঘর্ষণে বিদ্যুৎ উৎপত্তি (Electrification by friction)

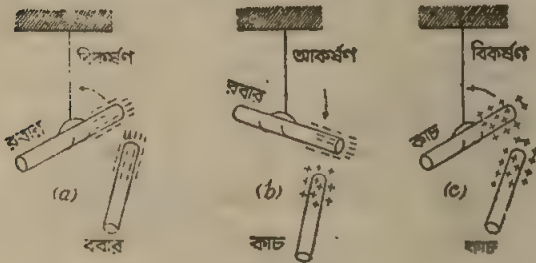
কাচের দণ্ডকে সিল্ক দিয়া ঘষিলে উহাতে একটি বিশেষ ধর্ম দেখা যায়। তখন ঐ দণ্ডটি ছোট কাগজের টুকরা বা অন্য কোন হালকা বস্তুকে আকর্ষণ করিতে পারে। শুধু কাচের দণ্ডই নয় ইবোনাইট, রবার, কাচ ইত্যাদি অনেক পদার্থই ঘর্ষণের ফলে এইরূপ আকর্ষণ ক্ষমতা লাভ করে। খ্রীস্টের জন্মের প্রায় 600 বৎসর আগেও গ্রীক দার্শনিকগণ ঘর্ষণের সাহায্যে বস্তুতে এইরূপ আকর্ষণ-ক্ষমতা জন্মাইবার কথা জানিতেন। ইহার পর প্রায় দুই হাজার বৎসর এ সম্বন্ধে কোনরূপ অনুসন্ধান হয় নাই। 1600 খ্রীস্টাব্দে ইংল্যান্ডের স্যার উইলিয়াম গিলবার্ট নূতনভাবে এ বিষয়ে গবেষণা শুরু করেন এবং ঘর্ষণের সাহায্যে বিভিন্ন বস্তুতে এইরূপ আকর্ষণ ক্ষমতা উদ্ভবের কথা প্রচার করেন। দৈনন্দিন জীবনেও ঘর্ষণের ফলে বস্তুর এই আকর্ষণ-ক্ষমতা লাভ লক্ষ্য করা যায়। প্লাস্টিকের চিরুনি দিয়া শুক চুল আঁড়াইবার পর ঐ চিরুনিটি ছোট ছোট কাগজের কুচি আকর্ষণ করিতে পারে। এখন প্রশ্ন হইল, বস্তুর এই আকর্ষণ-ক্ষমতার উৎস কী? ঘর্ষণের ফলে নিশ্চয়ই বস্তুর কোনরূপ পরিবর্তন ঘটে এবং তাহারই ফলে উহা এই আকর্ষণ-ক্ষমতা লাভ করে। কোন পদার্থের এইরূপ পরিবর্তন ঘটিলে আমরা বলি যে, উহা তড়িৎায়িত (electrified) হইয়াছে। কিংবা বলা হয় উহাতে তড়িৎআধান (electric charge) সঞ্চারিত হইয়াছে। ঘর্ষণের ফলে বস্তুতে এক ধরনের শক্তির উদ্ভব হয়। ইহার নাম তড়িৎ শক্তি (electrical energy)। সম্ভবত 650 খ্রীস্ট পূর্বাঙ্গে গ্রীক দার্শনিক থেলিস (Thales) প্রথম ঘর্ষণের ফলে বস্তুর এই আকর্ষণ-ক্ষমতা লাভ করার তথ্য আবিষ্কার করেন। তঁরিন আমবারের (amber) একটি দণ্ডক পশুলোম দ্বারা ঘষিয়া লক্ষ্য করেন যে, দণ্ডটি হালকা বস্তুকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা লাভ করিয়াছে। আমবারকে গ্রীক ভাষায় ইলেকট্রন (electron) বলে। এই শব্দটি হইতেই বোধ করি 'Electricity' কথাটি আসিয়াছে।

### 1.2 ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ (Positive and negative electricity)

খুব সহজেই প্রমাণ করা যায় যে, তড়িৎ দুই প্রকার। একটি শক্ত রবারের দণ্ডের এক প্রান্ত পশমের দ্বারা ঘষিয়া উহাকে রেশমী সূতার সাহায্যে ঝুলান বঁড়শীর আকারে



বাকান একটি তারের ধারকের উপর বসান হইল। এইরূপ ঘর্ষণের ফলে দণ্ডটি তড়িৎদাহিত হইবে। আর একটি রবারের দণ্ডের এক প্রান্ত অনুরূপভাবে ঘষিয়া প্রথম দণ্ডটির ঘষা-প্রান্তের নিকট ধরা হইল। দেখা যাইবে যে, উহাদের বিকর্ষণ হইতেছে [চিত্র 1.1 (a)]। কিন্তু



চিত্র 1.1

একটি কাচের দণ্ডের এক প্রান্তকে রেশম দ্বারা ঘষিয়া উহাকে ঝুলান রবার দণ্ডটির নিকট আনিতে উভয়ের মধ্যে আকর্ষণ ঘটিতে দেখা যাইবে [চিত্র 1.1 (b)] রেশমে-ঘষা কাচ-দণ্ডটিকে এক টি রেশমী সূতার

সাহায্যে বাকান তারের ধারকের উপর বসাইয়া একটি অবলম্বন হইতে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। এইবার আর একটি কাচের দণ্ডকে রেশম দ্বারা ঘষিয়া উহাকে ঝুলান কাচ-দণ্ডটির নিকটে আনা হইল। দেখা যাইবে যে, কাচ-দণ্ড দুইটি পরস্পরকে বিকর্ষণ করিতেছে।

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেল, কাচের আধান কাচের আধানকে এবং রবারের আধান রবারের আধানকে বিকর্ষণ করিতেছে। ইহা হইতে সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, সমতড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। কিন্তু কাচের আধান রবারের আধানকে আকর্ষণ করে। ইহারা সম-প্রকৃতির আধান হইলে ইহাদের বিকর্ষণ হইত। সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, অন্তত দুই জাতীয় তড়িৎ আছে।

যে-কোন তড়িৎদাহিত বস্তুকেই তড়িৎদাহিত রবার দণ্ডের কাছে বা কাচের দণ্ডের কাছে লইয়া আসা হউক না কেন সর্বদাই দেখা যাইবে যে, বস্তুটি কাচের বা রবারের দণ্ডের যে-কোন একটিতে বিকর্ষণ করিতেছে, অপরটিকে আকর্ষণ করিতেছে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, তড়িৎ দুই প্রকারের। বিজ্ঞানী বেঞ্জামিন ফ্রাঙ্কলিন ইহাদের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ আখ্যা দেন।

কাচকে রেশম দ্বারা ঘষিলে কাচে যে-জাতীয় তড়িৎ উৎপন্ন হয় তাহাকে ধনাত্মক তড়িৎ এবং রবারের দণ্ডকে পশম দ্বারা ঘষিলে রবারে যে-জাতীয় বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয় তাহাকে ঋণাত্মক তড়িৎ আখ্যা দেওয়া হইয়াছে। সমপরিমাণ দুই প্রকার তড়িৎ একত্রিত হইলে তড়িৎ-ধর্ম লুপ্ত হয় বলিয়া একটিতে ঋণাত্মক ও অপরটিকে ধনাত্মক তড়িৎ বলা হয়। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে, বিভিন্ন প্রকার পদার্থ পরস্পরের সংস্পর্শে আনিয়া পৃথক করিলে উহাদের একটিতে ধনাত্মক তড়িৎ এবং অপরটিতে সমপরিমাণ ঋণাত্মক তড়িৎের সঞ্চার হয়। ঘর্ষণের সময় দুইটি পদার্থ পরস্পরের নিবিড় সংস্পর্শে আসে বলিয়াই ঘর্ষণে বস্তু তড়িৎ-গ্রস্ত হয়। বিভিন্ন পদার্থকে বিভিন্ন বস্তু দিয়া ঘষিলে উহাদের মধ্যে ভিন্ন ভিন্ন প্রকৃতির তড়িৎ সঞ্চারিত হয়।

স্থির বিদ্যুতের বিভিন্ন পরীক্ষায় ব্যবহৃত পদার্থগুলিকে একটি তালিকাভুক্ত করা যাইতে পারে। এই তালিকায় পদার্থগুলি পর পর এমনভাবে সাজান থাকে যে, কোন দুইটিকে পরস্পরের সহিত ঘষিলে উহাদের ক্রমিক সংখ্যানুসারে আগেরটিতে

যনাস্তক এবং পরেরটিতে ঋণাস্তক তড়িৎ উৎপন্ন হয়। নিয়ে এইরূপ একটি তালিকা দেওয়া হইল।

1. কাচ	5. মানবদেহ	9. গছক
2. পশম	6. কাঠ	10. ইবোনাইট
3. কার্পাস বস্ত্র	7. আমবার	11. রবার
4. রেশম	8. ধাতব পদার্থ	12. গাটাপাট

### 1.3 তড়িৎের স্বরূপ

1774 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী ফ্যারাডে তড়িদাধানের স্বরূপ সম্বন্ধে একটি মতবাদ প্রচার করেন। তাঁহার মতে বিদ্যুৎ এক প্রকার ভর-বিহীন প্রবাহী। এইজন্য তাঁহার মতবাদকে একক প্রবাহী মতবাদ (one fluid theory) বলা হয়। ফরাসী বিজ্ঞানী দু ফে আর একটি তত্ত্ব প্রচার করিয়াছিলেন। তাঁহার তত্ত্বকে দ্বি-প্রবাহী মতবাদ (Two fluid theory) বলা যায়। তাঁহার অভিমতে তড়িৎ প্রকৃতপক্ষে দুইটি ভর-বিহীন প্রবাহী। এই সকল মতবাদ বর্তমানে প্রাস্ত বালিয়া প্রমাণিত হইয়াছে। আমরা তড়িৎের বর্তমান তত্ত্ব লইয়া বিস্তারিত আলোচনা করিব। তড়িদাধান কি এবং কীরূপেই বা কোন বস্তুকে তড়িৎ-গ্রস্ত করা যায় তাহা অনুধাবনের জন্য পদার্থের পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে জ্ঞান থাকা দরকার। কোন মৌলিক পদার্থের পরমাণু তিন প্রকার কণিকার দ্বারা গঠিত। ইহাদের নাম—ইলেকট্রন, প্রোটন এবং নিউট্রন। ইহাদের মধ্যে ইলেকট্রন সর্বাপেক্ষা ছাট্কা। একটি ইলেকট্রনের তুলনায় একটি প্রোটন বা নিউট্রন প্রায় 1836 গুণ ভারী। পরমাণুর মধ্যে এই কণাগুলির বিন্যাস অনেকটা সৌরজগতের ন্যায়। পরমাণুর কেন্দ্রে থাকে প্রোটন ও নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত কেন্দ্রীয় বা নিউক্লিয়াস। সূর্যের চারিদিকে ভ্রাম্যমাণ গ্রহগুলির মত ইলেকট্রনগুলি বিভিন্ন কক্ষপথে নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ঘোরে। কোন পদার্থের স্বকীয়তা নির্ভর করে পরমাণুর প্রোটন সংখ্যার উপর। প্রোটনের সংখ্যা বিভিন্ন হইলে পদার্থের প্রকৃতিও বিভিন্ন হয়। যে-কোন পরমাণুতে ঋণাত্মক অবস্থার নিউক্লিয়াসের প্রোটন সংখ্যা উহার চতুর্দিকে কক্ষপথে ভ্রাম্যমাণ ইলেকট্রনের সংখ্যার সমান। হাইড্রোজেনের পরমাণু সর্বাপেক্ষা সরল। ইহার পরমাণুর কেন্দ্রে একটি প্রোটন এবং উহাকে কক্ষপথে আবর্তন করিতেছে একটি ইলেকট্রন।



⊖ — ইলেকট্রন  
⊕ — প্রোটন  
● — নিউট্রন

চিত্র 1.2

হিলিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াসে আছে দুইটি প্রোটন এবং দুইটি নিউট্রন (চিত্র 1.2), ইহার বাহিরে কক্ষপথে ভ্রাম্যমাণ দুইটি ইলেকট্রন। বিভিন্ন পদার্থে প্রোটনের সংখ্যা বিভিন্ন। একই মৌলিক পদার্থের অণুতে প্রোটন সংখ্যা এক থাকিলেও নিউট্রনের সংখ্যা বিভিন্ন হইতে পারে।

ইলেকট্রন এবং প্রোটনের একটি বিশেষ ধর্ম আছে। এই ধর্মের প্রকাশকেই আমরা তড়িৎ বলি। নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষায় প্রমাণিত হইয়াছে যে, ইলেকট্রনের তড়িৎ-ধর্ম

পূর্বে আলোচিত ঋণাত্মক তড়িৎের সহিত অভিন্ন। তাই ইলেকট্রনকে ঋণাত্মক তড়িৎ-কণা বলা হয় এবং প্রোটনকে ধনাত্মক তড়িৎ-কণা বলা হয়। নিউট্রনের কোন তড়িৎ-ধর্ম নাই বলিয়া উহাকে উদাসীন (neutral) কণা বা নিরুপাধিক কণা বলা হয়। ইলেকট্রন ও প্রোটনের তড়িৎ-ধর্ম পরস্পরের বিপরীত জাতীয়। একটি ইলেকট্রনে যতটুকু ঋণাত্মক তড়িদাধান আছে, একটি প্রোটনে ঠিক ততটুকু ধনাত্মক তড়িদাধান আছে। কাজেই একটি প্রোটন এবং একটি ইলেকট্রন খুব কাছাকাছি থাকিলে একটু দূরে কার্যত ইহাদের কোন তড়িৎ-ধর্ম প্রকাশ পায় না। স্বাভাবিক অবস্থায় একটি পরমাণুতে যতগুলি ইলেকট্রন থাকে, ঠিক ততগুলিই প্রোটন থাকে বলিয়া এই অবস্থায় পদার্থের পরমাণুর তড়িৎ-ধর্ম প্রকাশ পায় না। পরস্পর বিপরীতধর্মী ইলেকট্রন এবং প্রোটন পরস্পরের ক্রিয়াকে নাকচ করিয়া দেয়।

### 1.4 তড়িদাধান (Electric charge)

কোন প্রক্রিয়ার দ্বারা পরমাণুর ইলেকট্রন এবং প্রোটনের সংখ্যার বৈষম্য সৃষ্টি করিতে পারিলে উহাতে এক জাতীয় কণিকার আধিক্য এবং অপর জাতীয় কণিকার ঘাটতি হইবে। সেক্ষেত্রে বিপরীতধর্মী ইলেকট্রন ও প্রোটন আর পরস্পরের ক্রিয়া নাকচ করিতে পারিবে না, ফলে পরমাণুর তড়িৎ-ধর্ম প্রকাশ পাইবে। এইরূপ ক্ষেত্রে বলা হয় যে, পরমাণু তড়িৎ-গ্রস্ত হইয়াছে। পরমাণুতে ইলেকট্রন এবং প্রোটন পরস্পরের আকর্ষণে আবদ্ধ থাকে, বাহির হইতে শক্তি প্রয়োগ না করিয়া ইহাদের বিচ্ছিন্ন করা যায় না। ঘর্ষণ, তাপশক্তির প্রয়োগ, আলোর প্রভাব ইত্যাদি নানা পদ্ধতিতে পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন করা যায়। কোন পরমাণু হইতে যদি এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন করিয়া লওয়া যায় তাহা হইলে পরমাণুর ইলেকট্রন-সংখ্যা কমিয়া যায়। ইহাতে পরমাণুতে ঋণাত্মক তড়িদাধানের তুলনায় ধনাত্মক তড়িৎের আধিক্য ঘটে বলিয়া পরমাণু ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত হয়। আবার বিচ্ছিন্ন ইলেকট্রনগুলি যদি অপর কোন নিরুপাধিক পরমাণুর সহিত যুক্ত হয় তবে উহাতে ঋণাত্মক তড়িৎের আধিক্য ঘটে। এইরূপ পরমাণুকে ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত বলা যায়। এইরূপ তড়িৎ-গ্রস্ত পরমাণুকে আয়ন (ion) বলা হয়। আয়ন দুইপ্রকার—ধনাত্মক ও ঋণাত্মক। এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, কোন পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন করিয়া লইলে বা উহার সহিত ইলেকট্রন যুক্ত করিলে ইহার স্বকীয়তা বা মৌলিকতার কোনরূপ পরিবর্তন হয় না, কেননা, পদার্থের মৌলিকতা বহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রনের উপর নির্ভর করে না, নিউক্লিয়াসের মোট প্রোটন সংখ্যার দ্বারা ইহা নির্ধারিত হয়।

উপরের আলোচনা হইতে সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, কোন বস্তুতে ধনাত্মক তড়িদাধান সঞ্চারিত হইবার অর্থ ইলেকট্রনের ঘাটতি এবং ঋণাত্মক তড়িদাধান সঞ্চারিত হইবার অর্থ ইলেকট্রনের আধিক্য। কোন বস্তুতে কী পরিমাণ তড়িদাধান সঞ্চারিত হইবে তাহা স্বাভাবিকভাবেই নির্ভর করিবে বস্তুটিতে কী পরিমাণ ইলেকট্রন উদ্ধৃত বা ঘাটতি আছে তাহার উপর। যেহেতু ইলেকট্রনের আধিক্য বা ঘাটতিই বস্তুতে তড়িদাধান সঞ্চারের কারণ, সুতরাং বলা যায়, একটি ইলেকট্রনে যে-পরিমাণ তড়িদাধান রহিয়াছে কোন বস্তুতে তদপেক্ষা কম তড়িদাধান সৃষ্টি করা যায় না। এইজন্য ইলেকট্রনের তড়িদাধানকে আধানের প্রাকৃতিক একক (natural unit) বলা যায়। কোন আহিত



কতর আধান সর্বদাই ইলেকট্রনের তড়িদাধানের পূর্ণ গুণিতক (integral multiple) হইবে।

### 1.5 ইলেকট্রন-তত্ত্বের আলোকে ঘর্ষণজাত তড়িতেষ ব্যাখ্যা

পরমাণুতে প্রোটনের আকর্ষণে ইলেকট্রন কক্ষে আবদ্ধ থাকে। কিন্তু সকল পদার্থের পরমাণুতে এই আকর্ষণ সমান নহে। দুইটি বিভিন্ন পদার্থ পরস্পরের সহিত ঘর্ষণ করিলে যে-পদার্থের পরমাণুতে ইলেকট্রন-নিউক্লিয়াস বন্ধন অপেক্ষাকৃত শিথিল সেই পদার্থের পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হইয়া অপরাধিতে চলিয়া যায়, ফলে বস্তু দুইটি বিপরীতধর্মী তড়িদাধান লাভ করে। যে-ইলেকট্রন একটি বস্তু হইতে বিচ্ছিন্ন হয় তাহাই অপর বস্তুতে যুক্ত হয় বলিয়া একটির ধন-তড়িৎ অপরাধির ঋণ-তড়িতে সমান হইবে। একটি ইবোনাইট দণ্ডকে যখন পশম দ্বারা ঘষা হয় তখন পশমের পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হইয়া পড়ে এবং ঐ ইলেকট্রন ইবোনাইট দণ্ডে যুক্ত হয়। ফলে ইবোনাইট দণ্ডে ইলেকট্রনের আধিক্য ঘটে এবং উহা ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হয়। পশমে ইলেকট্রনের ঘাটতির ফলে উহা ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয়। অনুবৃপ-ভাবে, কাচের দণ্ডকে রেশম দ্বারা ঘষিলে কাচ-দণ্ড হইতে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন বিচ্যুত হইয়া রেশমে আসিয়া যুক্ত হয়, ফলে কাচ ধন-তড়িতে এবং রেশম ঋণ-তড়িতে আহিত হয়।

### 1.6 পরিবাহী ও অপরিবাহী পদার্থ

বিদ্যুৎ-পরিবাহিতার ভিত্তিতে বিভিন্ন পদার্থকে মোটামুটি দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যাইতে পারে, (i) পরিবাহী ও (ii) অপরিবাহী বা অন্তরক। যে-সকল পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ চলাচল করিতে পারে উহাদের পরিবাহী বলা হয়। যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ চলাচল করিতে পারে না তাহাদের বলা হয় অপরিবাহী। পরিবাহী পদার্থের কোন অংশে তড়িৎের সঞ্চার হইলে বা উহার কোন অংশকে অপর কোন আহিত বস্তুর সংস্পর্শে আনিলে তড়িদাধান ঐ পদার্থের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে। রৌপ্য, তাম্র ও অন্যান্য ধাতু, কাঠ-কয়লা, অ্যাসিড, মানবদেহ ইত্যাদি পরিবাহী পদার্থের উদাহরণ। অপরপক্ষে, অপরিবাহী বস্তুর কোন অংশ তড়িৎ-গ্রস্ত হইলে তড়িদাধান মোটামুটি ঐ স্থানেই সীমাবদ্ধ থাকে, পদার্থটির সর্বত্র ছড়াইয়া যায় না। রেশম, কাচ, চিনামাটি, অস্ত্র, ইবোনাইট ইত্যাদি অপরিবাহী পদার্থ। কোন পদার্থই অবশ্য সম্পূর্ণ অপরিবাহী নয়। অস্ত্র, মোম, গন্ধক ইত্যাদি উত্তম অন্তরক, কিন্তু উহাদের যে-কোনটির এক অংশে তড়িদাধান দিলে ঐ আধান খুব ধীরে ধীরে বস্তুটির বিভিন্ন অংশে ছড়াইয়া পড়ে।

একটি কাচের দণ্ড এবং একটি ধাতব-দণ্ডকে হাতে ধরিয়া রেশমের দ্বারা ঘষিলে উভয় দণ্ডের ক্ষেত্রেই তড়িৎ-সৃষ্টি হইবার কথা। কিন্তু দেখা যায়, কাচের দণ্ডকে রেশমে ঘষিয়া পাতলা কাগজের টুকরার নিকট ধরিলে উহা কাগজকে আকর্ষণ করে, কিন্তু ধাতব-দণ্ডকে ঐরূপ হাতে ধরিয়া রেশমের সাহায্যে ঘষিয়া ছোট ছোট কাগজ-কুচির সম্মুখে ধরিলে অনুবৃপ আকর্ষণ দেখা যায় না। ইহার কারণ নিম্নরূপে ব্যাখ্যা করা যায়।



কাচ অপরিবাহী পদার্থ। সুতরাং, ঘর্ষণের ফলে উহার যে-অংশে তড়িদাধানের সঞ্চার হয়, আধান সেইখানেই থাকিয়া যায়। কিন্তু ধাতব-দণ্ড পরিবাহী বলিয়া ঘর্ষণে উৎপন্ন তড়িদাধান দণ্ড হইতে পরীক্ষাকারীর দেহের মধ্য দিয়া মাটিতে চলিয়া যায়। সুতরাং ধাতব-দণ্ডকে অনুরূপভাবে আহিত করা যায় না। ধাতব-দণ্ডের সহিত অন্তরক পদার্থের হাতল যোগ করিয়া রেশমের সাহায্যে ঘষিলে উহা তড়িৎ-গ্রস্ত হইবে।

শুষ্ক বায়ু উত্তম অন্তরক। কোন অন্তরকের উপর কোন আহিত বস্তু রাখিলে ঐ বস্তুর তড়িদাধান বহুক্ষণ ঐ বস্তুতে নিবদ্ধ থাকিতে পারে। বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ যত কম হয় তত বেশি সময় বস্তুটি আহিত থাকে। বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়িয়া গেলে অল্প সময়ের মধ্যে আহিত বস্তুর তড়িদাধান বাহির হইয়া যায়। শীতকালে আমাদের দেশের বায়ুতে জলীয় বাষ্প কম থাকে বলিয়া ঐ সময়ই স্থির-তড়িৎ-সংক্রান্ত পরীক্ষাগুলি করা সুবিধাজনক।

তড়িৎের বিশেষ ধর্ম এই যে, ইহা সর্বদা পরিবাহী পৃষ্ঠে ছড়াইয়া পড়িতে চায়। পৃথিবী একটি বিরাট পরিবাহী, এইজন্য কোন তড়িদাহিত বস্তুকে পৃথিবীর সংস্পর্শে আনিলে বস্তু হইতে তড়িৎ ভূমিতে চলিয়া যায়, ফলে বস্তুটি তড়িৎ-শূন্য হইয়া পড়ে। এই কারণেই কোন বস্তুকে আহিত অবস্থায় রাখিতে গেলে উহাকে অন্তরকের উপর বসান হয়। টেলিগ্রাফ, টেলিফোন এবং তড়িৎ-শক্তি সরবরাহকারী তার খাটাইবার সময় বিশেষভাবে লক্ষ্য রাখিতে হয় যাহাতে উহাদের সহিত ধাতব খুঁটির সংযোগ না থাকে। সাধারণত চিনামাটির অন্তরকের সাহায্যে উহাদের খুঁটির সহিত যুক্ত করা হয়।

● ইলেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে পরিবাহী ও অপরিবাহী পদার্থের আচরণের ব্যাখ্যা : পরিবাহী পদার্থের পরমাণুতে বাহিরের কক্ষপথে যে-সকল ইলেকট্রন থাকে তাহাদের উপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ এত কম যে, ঐ ইলেকট্রনগুলি মুক্তভাবে পরিবাহীর মধ্যে ইতস্ততঃ চলাফেরা করে। ইহারাই তড়িৎকে পরিবাহীর মধ্য দিয়া এক স্থান হইতে অন্যস্থানে লইয়া যায়। সকল ধাতব পদার্থই এই শ্রেণীভুক্ত। অপরিবাহী পদার্থের পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকায় ইলেকট্রনগুলি মুক্তভাবে ঐরূপ পদার্থের মধ্য দিয়া চলাফেরা করিতে পারে না। এই কারণেই অন্তরক পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ সহজে ছড়াইয়া পড়িতে পারে না।

## 1.7 পদার্থের আহিতকরণ

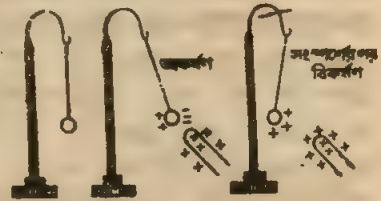
পরিবহণ দ্বারা আহিতকরণ : কোন অন্তরিত তড়িদাহিত বস্তুকে অন্তরক হাতলের সাহায্যে ধরিয়া অপর কোন অন্তরিত অনাহিত পরিবাহীর সংস্পর্শে আনা হইলে দেখা যাইবে যে, আহিত পরিবাহী হইতে কিছুটা আধান অনাহিত পরিবাহীতে চলিয়া গিয়াছে, ফলে অনাহিত বস্তুটি তড়িৎ-গ্রস্ত হইয়াছে। ঐরূপ প্রত্যক্ষ সংস্পর্শের দ্বারা কোন পরিবাহীকে আহিত করাকে বলা হয় পরিবহণের দ্বারা আহিতকরণ। ইলেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে সহজেই ইহা ব্যাখ্যা করা যায়। মনে করি, আহিত বস্তুটি ধনাত্মক তড়িৎ গ্রস্ত। সুতরাং, ইহাতে ইলেকট্রনের ঘাটতি রহিয়াছে। যখন আহিত বস্তুটি অনাহিত পরিবাহীর সংস্পর্শে আসে তখন ঐ পরিবাহীর কিছু সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন ধনাত্মক তড়িদাধান-

কর্তৃক আকৃষ্ট হইয়া আহিত বস্তুতে চলিয়া যায়। ইহাতে উক্ত পরিবাহীতে ইলেকট্রনের সংখ্যা স্বাভাবিক অপেক্ষা কম হয়, ফলে উহাতে ধনাত্মক তড়িদাধান সঞ্চারিত হয়। আহিত বস্তু যদি ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত হয় তবে উহা হইতে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন অনাহিত বস্তুতে চলিয়া আসে; ফলে অনাহিত বস্তুটিও ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইয়া পড়ে।

### 1.8 পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র (Pith-ball electroscope)

পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে তড়িৎের অস্তিত্ব পরীক্ষা করা হয়। এই যন্ত্রে একটি শোলার ক্ষুদ্র গোলক রেশমী সূতায় বাঁধিয়া একটি কাচ বা ইবোনাইটের স্ট্যাণ্ড হইতে ঝুলাইয়া রাখা হয়। ইহার সাহায্যে যে-শুধু তড়িদাধানের অস্তিত্ব নির্ধারণ করা যায় তাহাই নয়, ইহার সাহায্যে আধানের প্রকৃতিও নির্ণয় করা যায়।

(i) আধানের অস্তিত্ব নির্ধারণ—কোন বস্তু তড়িদাহিত কিনা জানিবার জন্য উহাকে পিথ-বলটির নিকটে আনা হয় (চিত্র 1.3)। বস্তুটি যদি পিথ-বলকে আকর্ষণ করে তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, বস্তুটি তড়িদাহিত। আকর্ষণের ফলে পিথ-বলটি আগাইয়া আসিয়া বস্তুর গায়ে ঠেকিলে উহা সমজাতীয় তড়িতে আহিত হয় বলিয়া বলটি বস্তুটির গায়ে ঠেকিবার পরই বিকসিত হয়।



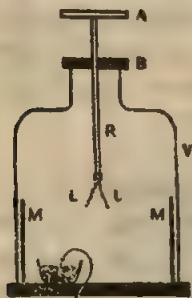
চিত্র 1.3

(ii) আধানের প্রকৃতি-বিচার—কোন আহিত বস্তুর আধান ঋণাত্মক কি ধনাত্মক তাহা বিচার করিতে হইলে প্রথমে পিথ-বলকে জানা প্রকৃতির তড়িদাধান দিয়া তড়িৎ-গ্রস্ত করিয়া লইতে হয়। মনে করা যাক, পিথ-বলটিকে ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত করা হইল (একটি কাচ দণ্ডকে রেশমের দ্বারা ঘষিয়া উহাকে পিথ-বলে ছোঁয়াইলে উহা ধনাত্মক তড়িদাধান লাভ করে)। এইবার পরীক্ষাধীন বস্তুটিকে দূর হইতে ধীরে ধীরে পিথ-বলটির কাছে আনা হইল। যদি বস্তুটি ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত হয় তাহা হইলে পিথ-বল বিকসিত হইবে। কিন্তু পরীক্ষাধীন বস্তুটি যদি ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত হয় বা অনাহিত (তড়িৎ-শূন্য) হয় তাহা হইলে পিথ-বলটি উহার দ্বারা আকৃষ্ট হইবে। সূত্রাং যদি বিকর্ষণ হয় তাহা হইলে বুঝা যাইবে যে, বস্তুটি ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত। কিন্তু আকর্ষণ হইলে বুঝিতে হইবে যে, বস্তুটি ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্তও হইতে পারে, আবার তড়িৎ-শূন্যও হইতে পারে। এরূপ ক্ষেত্রে বস্তুটিকে অপর একটি ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত পিথ-বলের নিকট লইয়া যাইতে হইবে। যদি এক্ষেত্রে বিকর্ষণ হয় তবে বুঝিতে হইবে যে, বস্তুটি ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত। আকর্ষণ হইলে বুঝিতে হইবে বস্তুটি তড়িৎ-শূন্য।

### 1.9 স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র (Gold-leaf electroscope)

এই যন্ত্রের সাহায্যে অতি সূক্ষ্মভাবে তড়িদাধানের অস্তিত্ব এবং আধানের প্রকৃতি নির্ধারণ করা যায়। এই যন্ত্রে একটি ধাতব-দণ্ড R-এর উপরের প্রান্তে একটি ধাতব

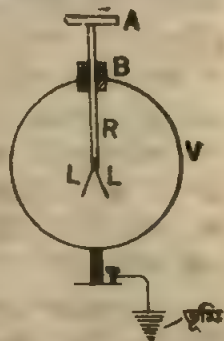
চাক্ৰটি A এবং নিম্নপ্রান্তে এক ছোঁড়া স্বর্ণপত্র L যুক্ত থাকে (চিত্র 1.4)। পাত দুইটি



উচ্চ ক্যালসিয়াম ক্রোমাইড

চিত্র 1.4

করা হয়। যন্ত্রটির মধ্যে একটি পাত্রে শুষ্ক ক্যালসিয়াম ক্রোমাইড রাখা হয়। ইহাতে যন্ত্রের মধ্যবর্তী বায়ুর জলীয় বাষ্প শোষিত হইয়া যায়, ফলে পাত্রে বায়ু শুষ্ক থাকে। আর এক প্রকার স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রে কাচের পাত্রে পরিবর্তে একটি ধাতব পাত্র ব্যবহার করা হয় (চিত্র 1.5)। ইহার সামনের এবং পিছনের দেওয়ালে কাচ লাগান থাকে। যন্ত্রটির ভূমিতে একটি ডু যুক্ত থাকে। এই ডুর সাহায্যে যন্ত্রটিকে ভূমির সহিত সংযুক্ত করা হয়। পিছ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের ন্যায় এই যন্ত্রকেও দুইটি উদ্দেশ্যে ব্যবহার করা হয়, যথা – (i) তড়িদাধানের অস্তিত্ব নির্ধারণ এবং (ii) আধানের প্রকৃতি নির্ণয়।



চিত্র 1.5

(i) আধানের অস্তিত্ব নির্ধারণ: পরীক্ষাধীন বস্তুকে অন্তরিত হাতলের সাহায্যে ধরিয়া যন্ত্রের A চাক্ৰটির সম্মুখে আনিলে যদি স্বর্ণপত্র দুইটির মধ্যে বিচ্ছারণ (divergence) দেখা যায় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, বস্তুটি তড়িদাহিত।

(ii) আধানের প্রকৃতি নির্ণয়: একটি কাচের দণ্ডকে রেশমের দ্বারা ঘষিয়া দণ্ডটিকে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রটির চাক্ৰটিতে ছোঁয়াইলে কাচ দণ্ড হইতে ধনাত্মক তড়িৎ যন্ত্রটিতে পরিবাহিত হয়। পাতলা পত্রদ্বয় (L, L) উভয়েই একই প্রকার তড়িৎ (ধনাত্মক) দ্বারা আহিত বলিয়া একে অন্যের দ্বারা বিকর্ষিত হইবে, ফলে পত্রদ্বয়ের মধ্যে বিচ্ছারণ দেখা যাইবে। ইবোনাইট দণ্ডকে পশম দ্বারা ঘষিয়া ঐ দণ্ডকে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের চাক্ৰটির সহিত স্পর্শ করাইয়া যন্ত্রটিকে ঋণাত্মক তড়িৎ দ্বারাও আহিত করা যায়। এক্ষেত্রেও পত্রদ্বয় একই কারণে বিচ্ছারিত হইবে। কোন তড়িদাহিত বস্তুর তড়িৎের প্রকৃতি জানিতে হইলে প্রথমে এইরূপ একটি আহিত তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র লইতে হয়। পরীক্ষাধীন বস্তুটিকে চাক্ৰটির কাছে আনিলে যদি পত্রদ্বয়ের বিচ্ছারণ বাড়িয়া যায় তবে বুঝিতে হইবে যে, বস্তুটির তড়িদাধান বীক্ষণ-যন্ত্রের তড়িদাধানের সমধর্মী। যদি পত্রদ্বয়ের বিচ্ছারণ কমিয়া যায় তবে বুঝিতে হইবে যে, বস্তুর আধান বীক্ষণ-যন্ত্রের আধানের বিপরীতধর্মী।



● লক্ষণীয় যে, ঘর্ষণের তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পরিবর্তী তড়িৎ-বাহী বর্তনীর তড়িৎ-বিভবও মাপা যায়। আমরা জানি যে, আধানের প্রকৃতি ( ধনাত্মক বা ঋণাত্মক ) যাহাই হউক না কেন, তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের পটত্বয় সর্বদাই পরস্পরকে বিকর্ষণ করে, ফলে উহার পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যায়। সুতরাং, কোন পরিবর্তী তড়িৎ-বিভবের দুইটি অর্ধপর্ধায়েই তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের পটত্বয় পরস্পর বিকর্ষিত হয়। কাজেই পূর্ণ পর্ধায়ে পটত্বয়ের উপর ক্রিয়াশীল গড় বিকর্ষণ বলের মান শূন্য হয় না। ইহার ফলে পটত্বয়ের বিস্তারণ ঘটে। এই বিস্তারণের মান পরীক্ষাধীন পরিবর্তী বিভবের মানের উপর নির্ভর করে।

### 1.10 আধান-পরীক্ষক (Proof-plane)

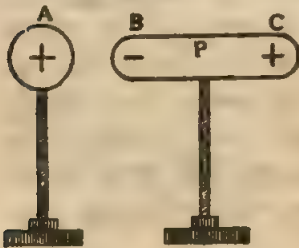
কোন বস্তুতে তড়িদাধান আছে কিনা, থাকিলে উহা ধনাত্মক কি ঋণাত্মক তাহা জানিবার জন্য আধান-পরীক্ষক নামক একটি সরল যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। ইহাতে একটি ধাতব চাকৃতি থাকে ( চিত্র 1.6 )। চাকৃতিটির সহিত একটি অন্তরক পদার্থের তৈয়ারী হাতল যুক্ত থাকে। হাতলে ধরিয়া ধাতব চাকৃতিটিকে কোন তড়িদাহিত বস্তুর সংস্পর্শে আনিলে উহা ঐ বস্তু হইতে কিছু পরিমাণ আধান সংগ্রহ করে। ইহার পর ঐ আধান-পরীক্ষককে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের নিকটে আনা হয়। যখন কোন আহিত বস্তুকে সরাসরি তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের কাছে লইয়া যাওয়া অসুবিধাজনক তখন আধান-পরীক্ষকের সাহায্য লইয়া উহার আধানের প্রকৃতি জানা যায়।



চিত্র 1.6

### 1.11 বৈদ্যুতিক আবেশ (Electrostatic induction)

একটি আহিত বস্তুকে একটি অনাহিত পরিবাহীর নিকটে আনিলে পরিবাহীর যে-প্রান্ত আহিত বস্তুর নিকটবর্তী সেই প্রান্তে আহিত বস্তুর আধানের বিপরীতধর্মী তড়িদাধান সঞ্চারিত হয় এবং উহার দূরবর্তী প্রান্তে আহিত বস্তুর তড়িতের সমধর্মী তড়িদাধান সঞ্চারিত হয়। মনে করি, A একটি ধনাত্মক তড়িদাহিত বস্তু। ইহার নিকটে একটি পরিবাহী (P) রাখা হইল। দেখা যাইবে যে, পরিবাহীর নিকটের প্রান্তে (B) ঋণাত্মক তড়িৎ এবং দূরবর্তী প্রান্তে (C) ধনাত্মক তড়িৎ সঞ্চারিত হইয়াছে ( চিত্র 1.7 )। এইভাবে আহিত বস্তুর সহিত প্রত্যক্ষ যোগাযোগ ছাড়া কেবলমাত্র নৈকট্যের দ্বারা বস্তুতে তড়িৎ সঞ্চারিত হওয়াকে বৈদ্যুতিক আবেশ বলা হয়। যে-তড়িদাধানের প্রভাবে আবেশ সৃষ্টি হয় তাহাকে আবেশী আধান (Inducing charge) এবং আবেশের ফলে উদ্ভূত আধানকে আবিষ্ট আধান (induced charge) বলে।



চিত্র 1.7

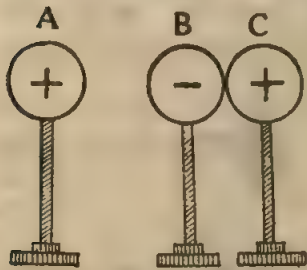
ইলেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে সহজেই আবেশের কারণ ব্যাখ্যা করা যায়। ধনাত্মক তড়িদাহিত বস্তুটি (A) পরিবাহী P-এর নিকটে আনিলে উহার মধ্যবর্তী ইলেকট্রনগুলি



A বস্তুর দিকে আকৃষ্ট হইবে ফলে উহার B প্রান্তে (A বস্তুর নিকটবর্তী প্রান্তে) আসিয়া জমা হইবে। কাজেই, ঐ প্রান্তে ঋণাত্মক তড়িদাধান সঞ্চারিত হইবে। দূরবর্তী প্রান্ত C-তে ইলেকট্রনের সংখ্যা হ্রাস পাওয়ায় ঐ প্রান্তে ধনাত্মক তড়িদাধান সঞ্চারিত হইবে।

আবেশী তড়িৎ ঋণাত্মক হইলে পরিবাহীর ইলেকট্রনগুলি বিকষিত হইয়া দূরের প্রান্তে চলিয়া যায়, ফলে ঐ প্রান্তে ঋণাত্মক আধান সৃষ্টি করে। নিকটবর্তী প্রান্তে ইলেকট্রনের ঘাটতির ফলে ধনাত্মক তড়িদাধান সঞ্চারিত হয়।

আবেশের ফলে সমান ও বিপরীতধর্মী আধানের সৃষ্টি হয় : A, B এবং C তিনটি অন্তরিত পরিবাহী (চিত্র 1.8)। পরিবাহী A-কে ঘর্ষণের সাহায্যে বা অন্য কোন আহিত বস্তুর সংস্পর্শে আনিয়া আহিত করা হইল। B এবং C পরিবাহীদ্বয় পরস্পরকে স্পর্শ করাইয়া রাখা হইল। এইবার আহিত পরিবাহী A-কে অন্তরক হাতলের সাহায্যে



চিত্র 1.8

ক্ষেত্রেই স্বর্ণপত্রদ্বয় বিস্তারিত হইতেছে। সুতরাং বুঝা গেল যে, B এবং C উভয়েই তড়িদাহিত হইয়াছে।

এইবার B এবং C-কে পরস্পরের সহিত স্পর্শ করান হইল। ইহার পর B এবং C-কে পৃথকভাবে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের চাকৃতির নিকট লইয়া গেলে স্বর্ণপত্রে কোনরূপ বিস্তারণ দেখা যাইবে না। অতএব সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, B এবং C পরস্পরের সংস্পর্শে আসিয়া পরস্পরের আধান প্রণামিত করিয়া দিয়াছে। ইহাতে বুঝা যায় যে, আবেশের ফলে B এবং C পরিবাহীতে সমান ও বিপরীতধর্মী তড়িৎ সঞ্চারিত হইয়াছিল।

ইলেকট্রন তত্ত্বের আলোকে সহজেই ইহার ব্যাখ্যা করা যায়। ধরি, A বস্তুটিকে ধনাত্মক তড়িৎ দ্বারা আহিত করা হইয়াছে। এখন, B এবং C পরস্পরের সহিত যুক্ত অবস্থায় ধনাত্মক তড়িদাহিত A বস্তুর নিকটে আসিলে উহার আকর্ষণে B-C পরিবাহী-যুগ্মের মুক্ত ইলেকট্রনগুলি B পরিবাহীর দিকে আসিবে। A বস্তুর উপস্থিতিতে B ও C-কে বিচ্ছিন্ন করিলে B পরিবাহী যে-পরিমাণ ইলেকট্রন লাভ করিয়া ঋণাত্মক তড়িদাহিত হইবে, C পরিবাহীতে ঠিক সেই পরিমাণ ইলেকট্রনের ঘাটতি হইবে, ফলে C পরিবাহীতে একই পরিমাণ ধনতড়িৎ সঞ্চারিত হইবে।

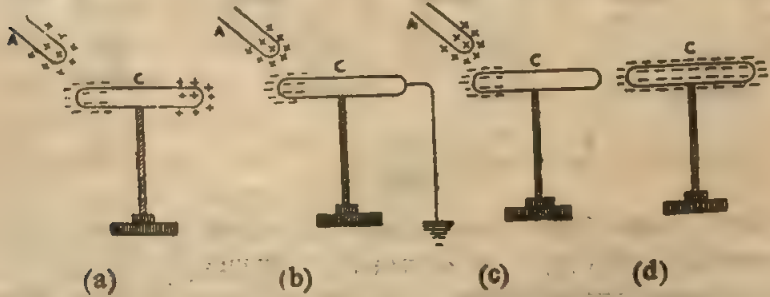
● আগে আবেশ, পরে আকর্ষণ : আমরা জানি যে, দুই বিপরীতধর্মী তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে। কিন্তু ইহাও দেখা যায় যে, তড়িৎ-গ্রস্ত বস্তু তড়িৎ-শূন্য বস্তুকেও আকর্ষণ করে। ইহার কারণ কী? তড়িদাহিত বস্তু প্রথমে আবেশের দ্বারা তড়িৎ-শূন্য বস্তুর নিকটবর্তী প্রান্তে উহার বিপরীতধর্মী আধান এবং দূরবর্তী প্রান্তে সম-

জাতীয় আধান সৃষ্টি করে। অধিকতর দূরবর্তী সমজাতীয় তড়িদাধানের বিকর্ষণ অপেক্ষা নিকটবর্তী বিপরীতধর্মী তড়িদাধানের আকর্ষণ বেশি হয়। ইহার ফলে তড়িদাহিত বস্তু নিষ্ঠাভিৎ বস্তুকে আকর্ষণ করে। এইজন্যই বলা হয়, 'আবেশ আকর্ষণের পূর্বগামী' (induction proceeds attraction)।

**মুক্ত ও বদ্ধ আধান (Free and bound charges):** আবেশের ফলে BC পরিবাহীর C প্রান্তে (চিত্র 1.8) যে-আধান আবিষ্ট হয় তাহা আবেশী আধানের সমধর্মী বলিয়া আবেশী আধান ইহাকে বিকর্ষণ করিয়া দূরে সরাইয়া দিতে চায়। এই আধানকে স্থানান্তরে লইয়া যাওয়া সহজ। পরিবাহীকে ভূমির সংস্পর্শে আনিলে C প্রান্তের তড়িদাধান ভূমিতে চলিয়া যায় (প্রকৃতপক্ষে ভূমি হইতে ইলেকট্রন আসিয়া এই ধন-তড়িৎকে প্রশমিত করিয়া দেয়)। এই কারণে দূরবর্তী প্রান্তের আবেশী আধানের সমধর্মী আবিষ্ট আধানকে **মুক্ত আধান** বলে। কিন্তু B-প্রান্তে যে-বিপরীতধর্মী আধান আবিষ্ট হয় তাহা আবেশী আধানের আকর্ষণের প্রভাবে থাকে বলিয়া উহা স্থান ত্যাগ করিয়া যাইতে পারে না। এইজন্য ইহাকে **বদ্ধ আধান** বলা হয়।

**আবেশের সাহায্যে আহিতকরণ :** পরিবহনের সাহায্যে কোন পরিবাহীকে আহিত করা যায় তাহা আমরা ইতিপূর্বে আলোচনা করিয়াছি। আবেশের দ্বারাও পরিবাহীতে তড়িদাধান সঞ্চারিত করা যায়। নিম্নে তাহাই আলোচনা করা হইল।

মনে করি, C একটি অন্তরিত পরিবাহী (চিত্র 1.9)। ইহাকে তড়িদাহিত করিতে হইবে। (i) মনে করা যাক, একটি ধনাত্মক তড়িদাহিত বস্তু A-কে পরিবাহী C-এর নিকটে আনা হইল। আবেশের ফলে পরিবাহীর নিকটবর্তী প্রান্তে বিপরীতধর্মী (এক্ষেত্রে ঋণাত্মক) তড়িৎ এবং দূরবর্তী প্রান্তে সমধর্মী (এক্ষেত্রে ধনাত্মক) তড়িৎ সঞ্চারিত হইবে [চিত্র 1.9(a)]। (ii) আবেশী বস্তুটিকে নিকটে রাখিয়া পরিবাহীকে আঙুলি দিয়া স্পর্শ করিয়া, কিংবা কোন পরিবাহী তার দ্বারা ভূমি-সংলগ্ন করা হইল। ফলে দূরবর্তী প্রান্তের মুক্ত আধান ভূমিতে চলিয়া যাইবে। কিন্তু নিকটবর্তী প্রান্তের বদ্ধ আধান ঐ প্রান্তেই থাকিয়া যাইবে [চিত্র 1.9(b)]। (iii) এইবার



চিত্র 1.9

আবেশী আধানকে কাছে রাখিয়া ভূমির সহিত পরিবাহীর সংযোগ ছিন্ন করা হইল। এই সময়ও বদ্ধ আধান পরিবাহীর একই প্রান্তে থাকিবে [চিত্র 1.9(c)]। (iv) ইহার পর আবেশী আধান সরাইয়া লইলে বদ্ধ আধান সমস্ত পরিবাহীতে ছড়াইয়া পড়িবে। ফলে পরিবাহীতে ঋণাত্মক আধান সঞ্চারিত হইবে [চিত্র 1.9(d)]। এখানে

লক্ষণীয় যে, আবেশের সাহায্যে বস্তুতে যে-তড়িৎ সঞ্চারিত করা যায় তাহা আবেশী তড়িৎের বিপরীতধর্মী।

### 1.12 ফ্যারাডের বরফ-পাত্র পরীক্ষা

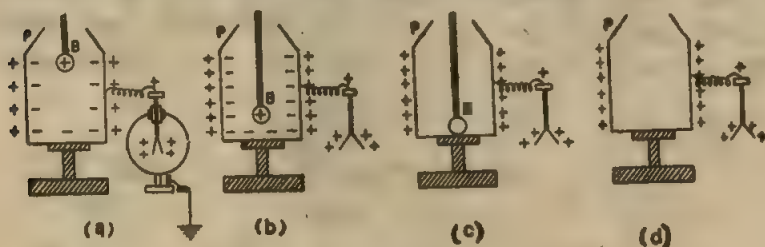
(Faraday's ice-pail experiment)

তড়িদাবেশ সম্পর্কে কয়েকটি মূল্যবান তথ্য পরীক্ষার সাহায্যে প্রতিষ্ঠা করেন বিজ্ঞানী ফ্যারাডে। তিনি এই পরীক্ষায় একটি বরফ রাখবার পাত্র ব্যবহার করিয়াছিলেন বলিয়া ইহাকে বরফ-পাত্র পরীক্ষা বলা হয়। এই পরীক্ষার সাহায্যে নিম্নের তথ্যগুলি জানা যায়।

(i) আবেশের ফলে যুগপৎ উভয় প্রকার তড়িদাধান সমানভাবে উৎপন্ন হয়।

(ii) আবেশ সম্পূর্ণ হইলে, অর্থাৎ আবিষ্ট বস্তু-কর্তৃক আবেশী আধান সম্পূর্ণভাবে বৈকিত থাকিলে, আবিষ্ট আধান আবেশী আধানের সমান হইবে। ভাষান্তরে বলা যায় যে, আবিষ্ট আধানের মান যখন সর্বোচ্চ তখন ইহা আবেশী আধানের সমান হয়।

**পরীক্ষা :** একটি অন্তরক আসনের উপর একটি গভীর ধাতব পাত্র স্থাপন করা হইল (চিত্র 1.10)। পরিবাহী তারের সাহায্যে পাত্রটিকে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের চাকতির সহিত যুক্ত করা হইল। একটি পরিবাহী গোলক B-কে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করিয়া অন্তরক হাতলের সাহায্যে উহাকে ধীরে ধীরে পাত্রের মধ্যে প্রবেশ করান হইল [চিত্র 1.10 (a)]। দেখা যাইবে যে, B পরিবাহী যত ভিতরে প্রবেশ করিতেছে স্বর্ণপত্রযন্ত্রের বিক্ষেপ তত বাড়িতেছে। কিন্তু যখন গোলকটি পাত্রের খানিকটা ভিতরে নামিয়া যাইবে তখন বিস্ফারণ সর্বোচ্চ হইবে [চিত্র 1.10 (b)]। গোলকটি P-পাত্রের বেশ খানিকটা ভিতরে রাখিয়া পাত্রের মধ্যে এপাশ-ওপাশ সরাইলে বিস্ফারণের কোন পরিবর্তন হয় না। কাজেই বুঝিতে হইবে যে, আবেশ সম্পূর্ণ



চিত্র 1.10

হইয়াছে। আবেশের ফলে P পাত্রের অভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠে ঋণাত্মক তড়িৎ এবং বহিঃপৃষ্ঠে ধনাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হইবে। স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রটি বহিঃপৃষ্ঠের সহিত যুক্ত বলিয়া উহাও ধনাত্মক তড়িতে আহিত হইবে। তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রটি-যে ধনাত্মক তড়িতে আহিত হইয়াছে তাহা প্রমাণ করিবার জন্য অপর একটি ধনাত্মক তড়িদাহিত বস্তুকে স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের চাকতির নিকট আনা হইল। ইহাতে স্বর্ণপত্রযন্ত্রের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইবে।

এইবার গোলকটিকে পাত্র হইতে বাহির করিয়া আনিলে দেখা যাইবে যে, স্বর্ণপত্রযন্ত্র সম্পূর্ণ নির্মালিত হইয়া গিয়াছে। ইহাতে বুঝা যায়, আবেশের ফলে উভয় প্রকার তড়িৎ

সম-পরিমাণে উৎপন্ন হইয়াছিল, ফলে আবেশী আধান সরিরা যাওয়ার উহারা পরস্পরকে সম্পূর্ণভাবে প্রশমিত করিয়াছে।

ইহার পর তড়িদাহিত গোলক B-কে পুনরায় ধীরে ধীরে প্রবেশ করান হইল। গোলকটি বেশ খানিকটা ভিতরে প্রবেশ করিলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ সর্বোচ্চ হইবে। এইবার গোলকটিকে পাথের আভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠের সহিত স্পর্শ করান হইল [চিত্র 1.10 (c)]। দেখা যাইবে যে, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ অপরিবর্তিত আছে। গোলকটিকে বাহিরে আনিলেও স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণের কোন পরিবর্তন হয় না [চিত্র 1.10 (d)]। স্পর্শের পর গোলকটিকে বাহির করিয়া আনিয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে, ইহাতে কোন তড়িদাধান অবশিষ্ট নাই। ইহা হইতে বুঝা যাইবে যে, P পাথের আভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠে যে-খণ্ডাংশক তড়িদাধান আবদ্ধ হইয়াছিল তাহা B গোলকের ধনাত্মক আধানের সমান, ফলে ইহা B গোলকের আধানকে সম্পূর্ণভাবে প্রশমিত করিয়াছে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, আবেশ সম্পূর্ণ হইলে আবেশী আধান আবদ্ধ আধানের সমান হয়।

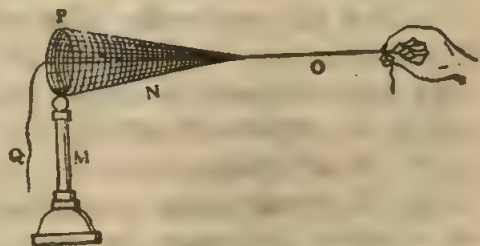
### 1.13 আহিত পরিবাহীতে আশান পরিবাহীর পৃষ্ঠে অবস্থান

করে

কোন পরিবাহীকে তড়িদাহিত করিলে, উহা নিরেটই হউক বা ফাঁপাই হউক, দেখা যায় যে, তড়িদাধান সর্বদাই উহার পৃষ্ঠে অবস্থান করে। পরিবাহী বস্তুর ধর্ম বিবেচনা করিলে সহজেই বুঝা যাইবে যে, ইহা হওয়াই স্বাভাবিক। পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িদাধান স্বচ্ছন্দে চলাফেরা করিতে পারে। এখন, সমধর্মী আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ করে বলিয়া আহিত পরিবাহীর আধানের যে-কোন অংশ অপর অংশকে বিকর্ষণ করিয়া দূরে সরাইয়া দিতে চায়। পরিবাহীতে তড়িৎ চলাচলের বাধা নাই বলিয়া উহার আধানের যে-কোন অংশ হইতে অন্য অংশ দূরে সরিয়া যাইতে পারে। এই কারণেই আধান পরিবাহীর পৃষ্ঠে চলিয়া আসে, কেননা ঐ অবস্থাতেই আধানের বিভিন্ন অংশের দূরত্ব চরমে পৌঁছে।

(i) ফ্যারাডের প্রকাপতি-জাল পরীক্ষা (Faraday's butterfly-net experiment) : আধান পরিবাহীর বাহ্য-পৃষ্ঠে অবস্থান করে তাহা ফ্যারাডে একটি সুন্দর পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করেন। একটি শব্দু-আকৃতির মসলীন বা কাপাস সূতার জাল

(N) একটি ধাতব আটো P-এর সহিত আটকান থাকে (চিত্র 1.11)। আটটি অন্তরক হাতলের উপর স্থাপিত। জালের শীর্ষে দুই পৃষ্ঠে দুইটি লম্বা রেশমী সূতা (O, Q) আটকান থাকে। এই জালটিকে সূতা দুইটির সাহায্যে প্রয়োজন মত



চিত্র 1.11

উঠান যায়, অর্থাৎ যে-কোন পৃষ্ঠকে প্রয়োজন মত উপরে আনা যায়।

কোন তড়িৎ-বস্তুর সাহায্যে জালটিকে প্রথমে আহিত করা হইল। একটি আধান-



পরীক্ষক লইয়া জালের ভিতরের পৃষ্ঠে ছোঁয়ান হইল। ইহার পর আধান-পরীক্ষকটিকে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের কাছে আনিলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ে কোন বিস্ফারণ পরিলক্ষিত হইবে না। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, জালের ভিতরের পৃষ্ঠে কোন আধান নাই। এইবার আধান পরীক্ষকটি জালের বাহিরের পৃষ্ঠে ছোঁয়াইয়া তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের চাকৃতির নিকট আনা হইলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ দেখা যাইবে। ইহা হইতে প্রমাণিত হইল যে, জালের বাহিরের পৃষ্ঠে তড়িদাধান রহিয়াছে।

এইবার ভিতরের সূতা টানিয়া জালটিকে উন্টাইয়া দেওয়া হইল অর্থাৎ বাহিরের পৃষ্ঠটিকে ভিতরে এবং ভিতরের পৃষ্ঠটিকে বাহিরে আনা হইল। আধান-পরীক্ষক দ্বারা নূতন আভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠ পরীক্ষা করিয়া দেখা যাইবে যে, উহাতে কোন তড়িদাধান নাই। নূতন বাহিঃপৃষ্ঠটি পূর্বের ন্যায় পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে ইহাতে আধান রহিয়াছে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, জালের যে-পৃষ্ঠ যখন বাহিরে থাকিবে জালের তড়িদাধান তখন সেই পৃষ্ঠে থাকিবে।

(ii) ব্যায়ের পরীক্ষা : এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রের দুইটি অংশ। একটি ধাতব গোলক (A)-কে একটি অন্তরিত স্ট্যাণ্ডের উপর দাঁড় করান থাকে (চিত্র 1.12)।  $B_1$ ,  $B_2$  দুইটি অন্তরক হাতলযুক্ত ফাঁকা অর্ধ-গোলক—ইহাদের আভ্যন্তরীণ ব্যাস গোলক A-এর ব্যাসের ঠিক সমান, যাহাতে A গোলকের উপর দুই দিক হইতে ইহাদের আঁটিয়া দিলে উহারা গোলককে স্পর্শ করিয়া উহাকে সম্পূর্ণ ঢাকিয়া দেয়। প্রথমে



চিত্র 1.12

A গোলকে খানিকটা আধান দেওয়া হইল। ইহার পর অনাহিত অবস্থায়  $B_1$ ,  $B_2$  অর্ধগোলক দুইটিকে হাতলে ধরিয়া গোলকটির উপর আঁটিয়া দিয়া আবার খুলিয়া ফেলা হইল। এইবার অর্ধগোলক দুইটিকে একে একে স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের নিকটে লইয়া যাওয়া হইল। দেখা যাইবে যে, উহারা উভয়েই তড়িৎ-গ্রস্ত হইয়াছে। গোলক A-কে উহার অন্তরিত স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে তড়িৎ-বীক্ষণ

যন্ত্রের নিকটে লইয়া গেলে দেখা যাইবে যে, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ হইতেছে না। ইহা হইতে প্রমাণিত হইল যে, A গোলকে কোন তড়িদাধান নাই।

অর্ধগোলক দুইটি গোলকের সহিত আঁটিয়া দিবার পর উহারা সম্মিলিতভাবে একটি পরিবাহীর সৃষ্টি করে। এই অবস্থায় আধান স্বাভাবিকভাবেই ঐ পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠে অর্থাৎ  $B_1$ ,  $B_2$  অর্ধগোলকদ্বয়ের পৃষ্ঠে চাঁলিয়া আসে, ফলে গোলক A তড়িৎ-বহীন হইয়া পড়ে।

(iii) ফাঁপা পরিবাহীর আধান : একটি ছিদ্রযুক্ত ফাঁপা পরিবাহী গোলককে একটি অন্তরিত স্ট্যাণ্ডের উপর বসাইয়া উহাকে তড়িদাহিত করা হইল (চিত্র 1.13)। একটি আধান-পরীক্ষককে গোলকটির ভিতরের পৃষ্ঠের কোন স্থানে



চিত্র 1.13

স্পর্শ করাইয়া উহাকে একটি তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে

উহাতে কোন আধান নাই। কিন্তু গোলকটির বাহিরের পৃষ্ঠে হোলাইয়া আধান-পরীক্ষকটিকে কোন তড়িৎবীক্ষণ-যন্ত্রের সাহায্যে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, ইহা আহিত। ইহাতে প্রমাণিত হইল যে, পরিবাহীর আধান কেবলমাত্র ইহার বাহিরের পৃষ্ঠে থাকে।

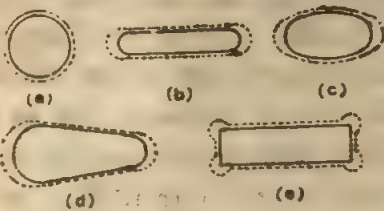
### 1.14 পদ্বিবাহী-পৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (Surface density of charge)

উপরের পরীক্ষাগুলি হইতে দেখা গেল যে, আহিত পরিবাহীর আধান উহার বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। কিন্তু পরিবাহীর পৃষ্ঠের সর্বত্র সাধারণত আধানের পরিমাণ সমান হয় না। পৃষ্ঠের আকৃতির দ্বারা উহার পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানের আধানের পরিমাণ নির্ধারিত হয়। পৃষ্ঠের যে-অংশের বক্রতা যত বেশি সেই অংশে আধানের পরিমাণ তত বেশি।

কোন তড়িৎদাহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠের কোন বিন্দুতে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে-পরিমাণ আধান থাকে তাহাকে ঐ বিন্দুতে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলা হয়।

তড়িৎ-গ্রস্ত পরিবাহী যদি গোলক হয় এবং অন্যান্য বস্তু হইতে দূরে থাকে তাহা হইলে উহার সর্বত্র আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান হইবে। বিভিন্ন আকৃতির পরিবাহীর বিভিন্ন অংশে আধানের ঘনত্ব কীদূপ হইবে তাহা 1.14 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। চিত্রে বিভিন্ন আকৃতির পরিবাহীগুলির পৃষ্ঠের বিভিন্ন বিন্দুর আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব

উহাদের চতুর্দিকে কাঁটা রেখা দ্বারা সূচিত হইয়াছে। পৃষ্ঠের কোন বিন্দু হইতে ঐ রেখার দূরত্ব উক্ত বিন্দুর আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বুঝাইতেছে। গোলাকার পরিবাহীর বক্রতা সর্বত্র সমান, সুতরাং ইহার পৃষ্ঠের সর্বত্র তলমাত্রিক ঘনত্বও সমান [চিত্র 1.14 (a)]। কিন্তু অন্যান্য ক্ষেত্রে পরিবাহীর



চিত্র 1.14

যে-অংশে বক্রতা বেশি বা যেখানে পরিবাহীর পৃষ্ঠ হঠাৎ বাঁকিয়া সূক্ষ্ম ধার সৃষ্টি করিয়াছে সেখানে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের মানও বেশি [চিত্র 1.14 (b, c, d, e)]। একটি আধান-পরীক্ষক (proof-plane) দ্বারা পরিবাহীর বিভিন্ন অংশের তলমাত্রিক ঘনত্বের তারতম্য দেখান যায়। আধান-পরীক্ষকটি পরিবাহীর পৃষ্ঠের কোন স্থানে স্পর্শ করাইলে উহাতে যে-পরিমাণ আধান সঞ্চিত হয় তাহা পরিবাহীর ঐ স্থানের তলমাত্রিক ঘনত্বের উপর নির্ভর করে। সুতরাং, আধান-পরীক্ষককে পরিবাহীর বিভিন্ন স্থানে স্পর্শ করাইয়া একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের নিকট লইয়া গিয়া স্বর্ণপত্রের বিস্তারনের তারতম্য লক্ষ্য করিলে পরিবাহীর পৃষ্ঠের বিভিন্ন অংশের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের তারতম্য বুঝা যায়। পরীক্ষা করিয়া দেখা যায় যে, আধান-পরীক্ষকটিকে পরিবাহীর পৃষ্ঠের সর্বাপেক্ষা বক্র বা সূচাল অংশে স্পর্শ করাইয়া তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের নিকট লইয়া গেলে স্বর্ণপত্রের বিস্তারনের মান সর্বাপেক্ষা বেশি হয়।

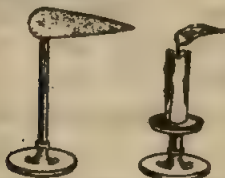
### 1.15 সূক্ষ্মাণু পরিবাহীর ক্রিয়া

আমরা জানি, কোন তড়িৎদাহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠে বে-স্থানের বক্রতা বেশি সেই স্থানে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বও বেশি। কাজেই, সূক্ষ্মাণুবিশিষ্ট একটি পরিবাহীকে তড়িৎদাহিত করিলে উহার সূক্ষ্মাণু স্থানে বা সূচীমুখে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব খুব বেশি হয়। ফলে চারিপার্শ্বের বায়ু ও ধূলিকণার প্রবল আবেশের সৃষ্টি হয়। এই আবেশের ফলে কণাগুলির নিকটবর্তী প্রান্তে পরিবাহীর আধানের বিপরীতধর্মী আধান আকর্ষিত হয় বলিয়া উহার সূচীমুখের দিকে আকৃষ্ট হয় এবং সূচীমুখের সহিত উহাদের সংস্পর্শ ঘটে। ইহাতে কণাগুলি পরিবাহীর সমজাতীয় তড়িৎতে আহিত হয়। তখন সূচীমুখ উহাদিগকে প্রবলভাবে বিকর্ষণ করে। আবেশের ফলে কণাগুলির দুই প্রান্তে সমান ও বিপরীতমুখী আধান উদ্ভূত হয়। সূচীমুখের স্পর্শে আকর্ষিত বিপরীতধর্মী আধান প্রশমিত হয় কিন্তু সমজাতীয় আধান কণার থাকিয়া যায়। এইরূপে বায়ুর কণাগুলি সূচীমুখ হইতে আধান লইয়া চলিয়া যাইতে থাকিলে পরিবাহীর আধান ধীরে ধীরে হ্রাস পাইতে থাকে। ইহাকে সূচীমুখের করণক্রিয়া (discharging action of points) বলা হয়।

### 1.16 তড়িৎ-বাত্যা (Electric wind)

সূচীমুখের ক্রিয়ার সমজাতীয় তড়িৎ-গ্রস্ত বায়ু-কণাগুলি বিকর্ষিত হইয়া দূরে সরিয়া গেলে পার্শ্বের নূতন বায়ুকণা উহার শূন্যস্থান পূরণ করিতে আসে। নবাগত বায়ুকণা-গুলিও একই ভাবে প্রথমে আবেশের ফলে আকৃষ্ট হইয়া এবং পরে সম-তড়িৎ লাভ করিয়া বিকর্ষিত হইয়া দূরে সরিয়া যায়। এইরূপে সূচাগ্র হইতে ক্রমাগত একটি বায়ুকণার প্রবাহ চলিতে থাকে। এই প্রবাহকে তড়িৎ-বাত্যা বলা হয়। পরীক্ষার সাহায্যে তড়িৎ-বাত্যা সৃষ্টি দেখাইবার জন্য নিম্নরূপ ব্যবস্থা করা হয় (চিত্র 1.15)। এই পরীক্ষায় সূচাগ্রবিশিষ্ট একটি ধাতব পরিবাহী লওয়া হয়। সূক্ষ্মাণুর সম্মুখে একটি মোমবাতির শিখা রাখা হইল। পরিবাহী নিস্তড়িৎ হইলে পরিবাহীর

তড়িৎ-উৎসাহিত হইতে শুরু  
হয়। তখনই তড়িৎ-বাত্যা



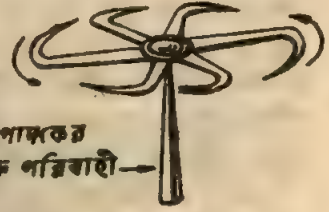
চিত্র 1.15

শিখা খাড়া থাকিবে, কিন্তু পরিবাহীটিকে একটি বৈদ্যুতিক যন্ত্রের সাহায্যে তীব্রভাবে তড়িৎদাহিত করিলে দেখা যাইবে যে, মোমবাতির শিখাটি হেলিয়া পড়িয়াছে। ইহার কারণ তড়িৎ-বাত্যা। বায়ুকণাগুলি আহিত পরিবাহীর সংস্পর্শে আসিবার পর বিকর্ষিত হইয়া বে-প্রবাহের সৃষ্টি করে তাহার প্রভাবেই মোমবাতির শিখা বাঁকিয়া যায়।

**তড়িৎ-চক্র (Electric whirl):** কোন তড়িৎদাহিত বস্তুতে কোন সূচাগ্র থাকিলে বায়ুতে যে-তড়িৎ-বাত্যা সৃষ্টি হয় তাহা দেখাইবার জন্য তড়িৎ-চক্র নামক একটি সুন্দর পরীক্ষা-ব্যবস্থা আছে। উহাতে সূচাগ্রবিশিষ্ট কয়েকটি শলাকা রহিয়াছে। শলাকাগুলির অগ্রভাগ একই দিকে বাঁকান থাকে (চিত্র 1.16)। চক্রটি উহার অক্ষ বোড়িয়া অবাধে ঘুরিতে পারে। ইহা একটি ধাতব-দণ্ডের উপর বসান থাকে। ধাতব-দণ্ডটিকে আহিত করিলে দেখা যাইবে যে, চক্রটি ঘুরিতে আরম্ভ করিয়াছে।



সহজেই এই ঘটনার ব্যাখ্যা করা যায়। চক্টি আহিত হওয়ার শলাকাগুলির সূচাগ্র হইতে বায়ুকণার সাহায্যে তড়িৎ-করণ শুরু হয়। এই সময় বায়ুকণাগুলি সমধর্মী তড়িতে আহিত হয় বলিয়া চক্কের প্রতিটি সূচাগ্র বায়ুকণার উপর বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে। নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে, বায়ুকণাও চক্কের উপর সমান ও বিপরীতমুখী বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করিবে। এই প্রতিক্রিয়া বলের প্রভাবে চক্টি ঘুরিতে থাকিবে।



চিত্র 1.16

### 1.17 বজ্র নিবারক (Lightning arrester)

বজ্রপাত হইতে বড় বড় অট্টালিকাকে রক্ষা করিবার জন্য যে-লম্বা ধাতব দণ্ড ব্যবহৃত হয় উহার শীর্ষে কতকগুলি তীক্ষ্ণাবিশিষ্ট শলাকা থাকে। দণ্ডটির নিম্নপ্রান্ত মাটির তলার গভীরভাবে প্রোথিত রাখা হয়। এই ধাতব-দণ্ডটিকে বজ্র-নিবারক বলা হয়। কোন তড়িদাহিত মেঘ ঐ বজ্র-নিবারক দণ্ডের উপর আসিলে তড়িদাবেশের ফলে উহার শীর্ষে মেঘের আধানের বিপরীতধর্মী আধান আকর্ষিত হয় (চিত্র 1.17)। মেঘের আধানের সমধর্মী আকর্ষিত আধান মাটিতে চালিয়া যায়। বজ্র-নিবারকের সূচাগ্রের ক্রিয়ায় বায়ুকণা তড়িদাহিত হয় এবং ঐ আহিত বায়ুকণাগুলি বিপরীত তড়িদাশানে আহিত মেঘের দিকে প্রবাহিত হয় এবং উহার আধানকে আংশিকভাবে প্রশমিত করিয়া দেয়। ফলে মেঘের তড়িৎ-বিভব হ্রাস পায়। ইহাতে বজ্রপাতের সম্ভাবনা কমিয়া যায়।



চিত্র 1.17

বজ্রপাতের সম্ভাবনা হ্রাস করা ছাড়াও ইহার আর একটি ক্রিয়া আছে। সূচাগ্রের ক্রিয়া সত্ত্বেও বজ্রপাত ঘটিলে বিদ্যুৎ অট্টালিকার অন্যান্য অংশ দিয়া না গিয়া উক্ত দণ্ডের মধ্য দিয়া মাটিতে চালিয়া যায়, কেননা, ঐ দণ্ডের পরিবাহিতা বেশি। এইজন্য উক্ত দণ্ডকে বজ্রবহ (lightning conductor)-ও বলা হয়।

### সার-সংক্ষেপ

বর্ষণের ফলে কোন বস্তু অন্য বস্তুকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা লাভ করে। এই সময় বলা হয় যে, বর্ষণের ফলে বস্তুটি তড়িদাহিত বা তড়িৎগ্রস্ত হইয়াছে। বর্ষণের ফলে



দুই প্রকার তড়িদাধান উৎপন্ন হইতে পারে : (i) ধনাত্মক তড়িদাধান এবং ঋণাত্মক তড়িদাধান। কাসকে রেশম দ্বারা ঘষিলে উহাতে যে-প্রকৃতির তড়িদাধান উৎপন্ন হয় তাহাকে ধনাত্মক তড়িৎ বলা হয়। রবারের দণ্ডকে পশম দ্বারা ঘষিলে রবার দণ্ডে যে-প্রকৃতির তড়িদাধান উৎপন্ন হয় তাহাকে ঋণাত্মক তড়িদাধান বলা হয়। কোন বস্তুতে ধনাত্মক তড়িদাধান সঞ্চারিত হইবার অর্থ হইল এই যে, উহাতে ইলেকট্রন-সংখ্যার ঘাটতির সৃষ্টি হইয়াছে এবং কোন বস্তুতে ঋণাত্মক তড়িদাধান সঞ্চারিত হইবার অর্থ হইল এই যে, উহাতে ইলেকট্রন-সংখ্যার আধিক্যের সৃষ্টি হইয়াছে।

যে-সকল কঠিন পদার্থে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে উহার বিদ্যুতের উত্তম পরিবাহী এবং যে-সকল কঠিন পদার্থে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না উহার বিদ্যুতের কুপরিবাহী বা অন্তরক।

তড়িদাধানের আশ্রয় এবং প্রকৃতি নির্ধারণের জন্য তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। পরীক্ষাগারে সাধারণত দুই ধরনের তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের ব্যবহার আছে : (i) পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র এবং (ii) স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র।

তড়িদাহিত বস্তুর সহিত প্রত্যক্ষ যোগাযোগ ছাড়া কেবলমাত্র নৈকট্যের দরুন বস্তুতে তড়িদাধান সঞ্চারিত হওয়াকে বৈদ্যুতিক আবেশ বলা হয়। যে-তড়িদাধানের প্রভাবে আবেশ সৃষ্টি হয় তাহাকে আবেশী আধান এবং আবেশের ফলে উদ্ভূত আধানকে আবিষ্ট আধান বলা হয়। আবেশের ফলে বস্তুর দুই প্রান্তে দুইপ্রকার তড়িদাধান আবিষ্ট হয়—যে-প্রান্ত আবেশী আধানের নিকটবর্তী উহাতে আবেশী আধানের বিপরীতধর্মী আধান এবং যে-প্রান্ত আবেশী আধান হইতে দূরবর্তী উহাতে আবেশী আধানের সমধর্মী আধান আবিষ্ট হয়।

কোন বস্তুকে দুইভাবে তড়িদাহিত করা যায়—(i) পরিবহনের সাহায্যে আহিতকরণ, (ii) আবেশের সাহায্যে আহিতকরণ।

আবিষ্ট বস্তুটি আবেশী আধানকে সম্পূর্ণভাবে ঘিরিয়া থাকিলে আবেশ সম্পূর্ণ হয় এবং এই সময় আবিষ্ট আধান আবেশী আধানের সমান হয়। ফ্যারাডের বরফপাত্র পরীক্ষার সাহায্যে তাহা প্রমাণ করা যায়।

কোন পরিবাহী নিরেটই হউক বা ফাঁপাই হউক, উহাকে তড়িদাহিত করিলে উহার তড়িদাধান সর্বদা উহার পৃষ্ঠে অবস্থান করে। ফ্যারাডের প্রজ্ঞাপতি-জাল পরীক্ষা এবং বায়োর পরীক্ষার সাহায্যে সহজেই ইহা প্রমাণ করা যায়।

কোন তড়িদাহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠের কোন বিন্দুতে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে-পরিমাণ আধান থাকে তাহাকে ঐ বিন্দুতে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলা হয়।

পরীক্ষার সাহায্যে দেখান যায় যে, পরিবাহী পৃষ্ঠের যে-বিন্দুতে বহুতর বেশি কিংবা পৃষ্ঠটি যেখানে হঠাৎ বাকিয়া সূক্ষ্ম ধার সৃষ্টি করিয়াছে সেখানে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বেশি হয়। তড়িদাহিত বস্তুতে সূচীমুখ থাকিলে তীব্র আবেশের ফলে ঐ সূচীমুখ হইতে তড়িৎবাহ্য্য সৃষ্টি হয় এবং তড়িদাহিত বস্তুটি হইতে তড়িদাধান বাহির হইয়া যাইতে থাকে। ইহাকে সূচীমুখের ক্ষরণক্রিয়া বলা হয়। বজ্র-নিবারকের কার্যনীতিতে সূচীমুখের এই ক্ষরণক্রিয়া কাজে লাগান হয়।

## প্রশ্নাবলী 1

### হৃদযান্ত্রিক প্রশ্নাবলী

1. 'যখন বায়ুর আর্দ্রতা বেশি থাকে তখন স্থির বিদ্যুৎ সংক্রান্ত পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা সুবিধাজনক নয়।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।
2. যখন তড়িৎদাহিত এবোনাইট দণ্ডকে ঘর্ষণে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের চাকৃতিতে স্পর্শ করান হয় তখন ঘর্ষণের ফলে বিস্ফারিত হয়। যখন এবোনাইট দণ্ডটি সরাইয়া লওয়া হয় তখন ঘর্ষণের ফলে বিস্ফারণ কিছুটা হ্রাস পায়। ইহার কারণ কী?
3. তোমাকে একটি ঘর্ষণে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র, একটি কাচদণ্ড, এক টুকরা রেশমের কাপড় দেওয়া হইল এবং এইগুলি ব্যবহার করিয়া প্রদত্ত একটি তড়িৎদাহিত দণ্ডের আধানের প্রকৃতি নির্ণয় করিতে বলা হইল। তুমি কীরূপে তাহা করিবে?
4. যখন একটি পলিথিন দণ্ডকে পশম দিয়া ঘষা হয় তখন উহা হালকা বস্তুকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা লাভ করে। ঘর্ষণের ফলে দণ্ডের এই আকর্ষণ-ক্ষমতা লাভের কারণ কী?
5. কোন দণ্ড পরিবাহী নাকি অন্তরক তাহা স্থির করিতে হইবে। তড়িৎদাহিত ঘর্ষণে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করিয়া তাহা কীরূপে করিবে?
6. কোন ধাতব দণ্ডকে হাতে ধরিয়া ঘর্ষণের সাহায্যে তড়িৎদাহিত করা যায় না কেন? এইরূপ দণ্ডকে তড়িৎদাহিত করিতে হইলে তোমাকে কী করিতে হইবে?
7. 'বিকর্ষণই তড়িৎদাহিতকরণের নিশ্চিততর প্রমাণ'—উক্তিটির সত্যতা প্রতিপাদন কর।  
[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982; (ত্রিপুরা), 1986]
8. 'আকর্ষণের আগে আবেশ ঘটে।'—উক্তিটির ব্যাখ্যা দাও।  
[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]
9. তীব্রভাবে তড়িৎদাহিত কোন বস্তুকে অতি দূর অপর একটি কণিভাবে সম-তড়িৎদাহিত বস্তুর নিকটে আনিলে বিকর্ষণের পরিবর্তে পরস্পরকে আকর্ষণ করিতে দেখা যাইতে পারে। ইহা কীরূপে সম্ভব হয়?
10. (a) এক ধরনের আধান সৃষ্টির সময় সর্বদা সমপরিমাণ বিপরীত প্রকৃতির আধান সৃষ্টি হয় কেন? (b) বস্তুপাতের সময় কাঁকা জারগার দাঁড়ান কি নিরাপদ? (c) 'বস্তু-নিরোধক বৃহৎ অটোমোবাইলকে বস্তুপাত হইতে রক্ষা করে'—ব্যাখ্যা কর।  
(সংস্করণের নমুনা প্রশ্ন, 1978)

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

11. তড়িৎদাহিত বস্তু কাহাকে বলে? তড়িৎদাহান দুই প্রকার—ইহা প্রমাণ করিবার জন্য একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর।
12. স্থির তড়িৎদাহের বলিতে কী বুঝায়? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982, উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978] আবেশের সাহায্যে একটি ঘর্ষণে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রকে কীভাবে ধনাঙ্ক তড়িৎ আহিত করা যায় ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978]

13. (a) বজ্র-নিবারকের কার্যনীতি কী ?

(b) আবেশের সাহায্যে কীভাবে একটি স্পর্শপত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে ধনাত্মক আধানে আহিত করিবে, চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]

14. তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র কাহাকে বলে ? স্পর্শপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং ইহার কার্যনীতি আলোচনা কর।

15. ভোমাকে একটি স্পর্শপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র, একটি কাচের দণ্ড এবং এক টুকরা সিল্ক দেওয়া হইল এবং একটি মোমের দণ্ডকে ফ্রান্সেল দ্বারা ঘবিলে কী প্রকৃতির আধান উৎপন্ন হয় তাহা নির্ণয় করিতে বলা হইল। কীরূপে তাহা করিবে স্পষ্টভাবে ব্যাখ্যা কর।

( সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 )

16. চিত্রসহ একটি স্পর্শপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা কর। ইহার সাহায্যে কীভাবে কোন বস্তুর আধান নির্দেশ করা যায় এবং কীভাবেই বা এই আধানের প্রকৃতি জানা যায় ? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981] এই তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পরিবর্তী তড়িৎ-বাহী বর্তনীর তড়িৎ-বিভব মাপা যায় কি ?

17. (i) আবেশ-পদ্ধতিতে স্পর্শপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রকে আহিত করা যায় কীরূপে ? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980] (ii) পরিবহণ পদ্ধতিতেই বা ইহাকে কীরূপে আহিত করা যায় ? ইলেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে আবেশ প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা দাও।

18. (a) ঘর্ষণের ফলে সমপ্রতিমাণ বিপরীতধর্মী তড়িৎের উৎপত্তি হয়, ইহা কীরূপে প্রমাণ করা যায় ? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

(b) ইলেকট্রন-তত্ত্বের সাহায্যে ঘর্ষণজাত তড়িৎের ব্যাখ্যা কর। অন্তরক ও পরিবাহী পদার্থের পার্থক্য কী ? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981] কয়েকটি পরিবাহী ও অন্তরক পদার্থের উদাহরণ দাও।

19. বৈদ্যুতিক আবেশ বলিতে কী বুঝ ? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1986] পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর যে, আবিষ্ট বস্তুর নিকটবর্তী প্রান্তে আবেশী আধানের বিপরীতধর্মী আধান এবং দূরবর্তী প্রান্তে সমধর্মী তড়িদাধান আবিষ্ট হয়।

20. পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা দাও। ইহার সাহায্যে তড়িদাধানের অস্তিত্ব ও আধানের প্রকৃতি নির্ধারণ করা যায় কীরূপে ?

21. তড়িদাবেশের ক্ষেত্রে বন্ধ এবং মুক্ত আধান বলিতে কী বুঝায় ? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982] আবেশের সাহায্যে কীরূপে কোন বস্তুকে ধনাত্মক তড়িদাহিত করা যায় ?

22. একটি ফাঁপা আহিত পরিবাহীর তড়িদাধান উহার বাহ্যিক পৃষ্ঠদেশে অবস্থান করে— ইহা কীরূপে প্রমাণ করিবে ? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

23. ফ্যারাডের বরফ-পাত্র পরীক্ষার সাহায্যে তড়িদাবেশ সঙ্কে কী কী তথ্য জানা যায় ? চিত্রের সাহায্যে পরীক্ষাটি বর্ণনা কর।

24. ফ্যারাডের প্রজাপতি-জাল পরীক্ষাটি বর্ণনা কর। ইহার সাহায্যে কী প্রমাণিত হয় ?

25. ‘আবেশ সম্পূর্ণ হইলে আবিষ্ট আধান আবেশী আধানের সমান হয়’—পরীক্ষার সাহায্যে তাহা কীরূপে প্রমাণ করিবে ?

26. ভোমাকে একটি কাচের দণ্ড ও এক টুকরা সিল্কের কাপড় দেওয়া হইল। ইহাদের

সাহায্যে কোন স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রকে ধনাত্মক তড়িতে ও ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করিতে পারিবে কি ?

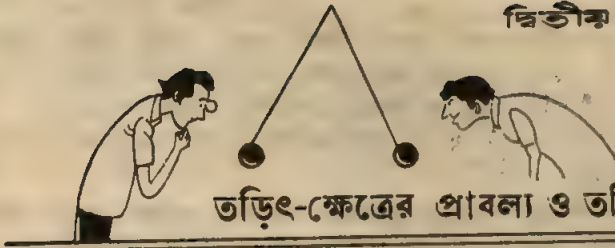
27. 'আধান সর্বদা আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠে অবস্থান করে'—পরীক্ষার সাহায্যে উক্তিটির সত্যতা প্রমাণ কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978 ]

28. (a) পরিবাহীতে আধান কোথায় অবস্থান করে ? উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। (b) তড়িদাহিত বস্তুর পৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলিতে কী বুঝ ? যে-কোন আকৃতির তড়িদাহিত বস্তুর পৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সর্বত্র এক হয় কি ?

29. তড়িৎ-বাত্যা কাহাকে বলে ? পরীক্ষার সাহায্যে ইহা দেখাইবার জন্য দুইটি পদ্ধতির আলোচনা কর।

30. সূচাগ্রবিশিষ্ট স্থির তড়িদাহিত বস্তুর ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর। পরীক্ষার সাহায্যে কীভাবে এই ক্রিয়া দেখান যায় ? বল-নিবায়ক কাহাকে বলে ? ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।





## তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও তড়িৎ-বিভব

*Science surpasses the old miracles of mythology.*

—Emerson.

### 2.1 দুইটি আধানের পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ কুলম্বের সূত্র

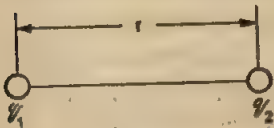
সমধর্মী তড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং বিপরীতধর্মী তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে যে, দুইটি তড়িৎ-গ্রন্থ বস্তু একে অন্যের উপর যে-বল প্রয়োগ করে তাহা বস্তু দুইটির আধানের পরিমাণ বা বস্তুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর নির্ভর করে। বস্তুদ্বয়ের দূরত্ব কমিলে এই বলের মান বৃদ্ধি পায়, বস্তুদ্বয়ের আধান বাড়িলেও এই পারস্পরিক বলের মান বাড়ে। উপরন্তু আহিত বস্তুদ্বয় যে-মাধ্যমে অবস্থিত তাহার প্রকৃতির উপরও এই বল নির্ভর করে। ফরাসী বিজ্ঞানী কুলম্ব এ সম্পর্কে নিম্নোক্ত সূত্রটি প্রকাশ করেন। ইহাকে কুলম্বের সূত্র বলা হয়।

দুইটি বিন্দু তড়িদাধানের পারস্পরিক বল উহাদের আধানের পরিমাপের গুণকলের সমানুপাতিক এবং উহাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। এই পারস্পরিক বল বিন্দু-আধানদ্বয়ের সংযোজী সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে। ইহাকে কুলম্বের ব্যস্তানুপাত বর্গ সূত্র (inverse square law) বলা হয়।

মনে করি,  $r$  দূরত্বে  $q_1$  এবং  $q_2$  দুইটি তড়িদাধান রাখা আছে (চিত্র 2.1)। যদি উহাদের পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল  $F$  ধরা হয়, তবে

$$F \propto q_1 q_2 \quad (\text{দূরত্ব } r \text{ স্থির থাকিলে})$$

$$\text{এবং } F \propto \frac{1}{r^2} \quad (q_1, q_2 \text{ থাকিলে})$$



চিত্র 2.1

$$\therefore F = \frac{1}{k} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \dots (2.1)$$

উপরের সমীকরণে  $k$  একটি ধ্রুবক। ইহার মান মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। ইহাকে মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা (permittivity) বলা হয়।

$q_1$  এবং  $q_2$  মানের বিন্দু-আধান দুইটি যদি শূন্যস্থানে (in vacuum)  $r$  দূরত্বে অবস্থিত হয় তাহা হইলে উহাদের পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল হইবে

$$F_0 = \frac{q_1 q_2}{k_0 r^2} \quad \dots (2.2)$$

এখানে  $k_0$  হইল শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা (permittivity of vacuum)। ইহা একটি প্রাকৃতিক ধ্রুব রাশি (constant of nature)।

কোন মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা  $k$  এবং শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা  $k_0$ -এ অনুপাতকে ঐ মাধ্যমের তড়িৎ-মাধ্যমাস্ক (dielectric constant) বা আপেক্ষিক আবেশিক শার্কর (specific inductive capacitance) বলা হয়।

অর্থাৎ, কোন মাধ্যমের তড়িৎ-মাধ্যমাস্ক

$$\epsilon = \frac{\text{আলোচ্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা } (k)}{\text{শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা } (k_0)} \quad \dots \quad (2.3)$$

লক্ষণীয় যে, কোন মাধ্যমের তড়িৎ-মাধ্যমাস্ক একটি সংখ্যামাত্র, কেননা ইহা দুইটি মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতার অনুপাত।

$$\text{সমীকরণ (2.3) হইতে লেখা যায়, } k = k_0 \epsilon \quad \dots \quad (2.4)$$

অর্থাৎ, কোন মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা ঐ মাধ্যমের তড়িৎ-মাধ্যমাস্ক ও শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতার গুণফলের সমান।

সূত্রায়, সমীকরণ (2.1) হইতে লেখা যায় যে, কোন মাধ্যমে পরস্পর  $r$  দূরত্বে অবস্থিত দুইটি বিন্দু-আধানের মধ্যে পারস্পরিক বিকর্ষণ বা আকর্ষণ বল

$$F = \frac{q_1 q_2}{k_0 \epsilon r^2} \quad \dots \quad (2.5)$$

সি. জি. এস. স্থির-তড়িৎ একক (electrostatic unit) পদ্ধতিতে শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা  $k_0$ -এর মানকে ঐচ্ছিকভাবে (arbitrarily) একক ধরিয়া লওয়া হয়।

$$\text{কাজেই, এই একক পদ্ধতিতে লেখা যায়, } \epsilon = \frac{q_1 q_2}{F r^2} \quad \dots \quad (2.6)$$

শূন্যস্থানের ক্ষেত্রে  $\epsilon = 1$  বলিয়া লেখা যায়,

$$F_0 = \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \dots \quad (2.7)$$

## 2.2 তড়িদাধানের একক (Unit of charge)

সমীকরণ (2.7) হইতে তড়িদাধানের একক স্থির করা যায়। যদি  $F = 1$  dyne,  $r = 1$  cm এবং  $q_1 = q_2 = q$  হয়, তাহা হইলে (2.7) হইতে পাই,

$$q^2 = 1 \text{ বা, } q = \pm 1$$

একক আধান বলিতে আমরা সেই পরিমাণ আধান বুঝি যাহা সমপরিমাণ ও সমধর্মী আধান হইতে শূন্যস্থানে (বা বায়ুতে) 1 cm দূরে থাকিয়া পরস্পরের প্রতি 1 dyne বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে। এই একককে আধানের সি. জি. এস. স্থির-তড়িৎ একক (electrostatic unit) বা স্ট্যাটকুলম্ব (statcoulomb) বলে। ইহাকে সংক্ষেপে e. s. u. বলা হয়। ইহা ছাড়া আধানের অন্য একটি একক আছে। ইহাকে তড়িচ্চুম্বকীয় একক (electromagnetic unit) বলা হয়। এই একক তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বকীয় ফলের উপর প্রতিষ্ঠিত। ইহাকে সংক্ষেপে e. m. u. বলা হয়।

ইলেকট্রনের ঘাটতি বা আধিক্যের ফলেই বস্তুতে আধান সঞ্চারিত হয়, তাই ইলেকট্রনের

আধান অপেক্ষা কম আধান বস্তুতে সঞ্চারিত করা যায় না। ইলেকট্রনের আধানের মান  $4.80 \times 10^{-10}$  e. s. u.।

স্থির তড়িৎ-এককের মান খুব কম বলিয়া আধান মাপিবার জন্য এই একক ব্যবহারিক ক্ষেত্রে সব সময় সুবিধাজনক নয়। আধানের ব্যবহারিক এককের নাম কুলম্ব। e. s. u.-এর সহিত কুলম্ব এবং c. m. u.-এর সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$1 \text{ কুলম্ব} = 3 \times 10^9 \text{ e. s. u.}$$

$$1 \text{ c. m. u.} = 10 \text{ কুলম্ব} = 3 \times 10^{10} \text{ e. s. u.}$$

### 2.3 তড়িৎ-ক্ষেত্র এবং ইহার প্রাবল্য

কোন তড়িৎ-গ্রস্ত বস্তুর চারিদিকে যে-অঞ্চল জুড়িয়া উহার তড়িৎ-ধর্ম অনুভূত হয়, সেই অঞ্চলকে তড়িৎদ্বারিত বস্তুর তড়িৎ-বলক্ষেত্র বা সংক্ষেপে তড়িৎ-ক্ষেত্র (electric field) বলা হয়। তাত্ত্বিক বিচারে এই ক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত, কিন্তু একটি নির্দিষ্ট দূরত্বের পর কার্যত ইহার প্রভাব অনুভূত হয় না।

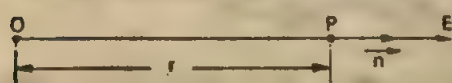
তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান রাখিলে ঐ আধান যে-বল অনুভব করে তাহাকে উক্ত বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তীব্রতা (intensity of the field) বলা হয়। উক্ত ধনাত্মক আধানের উপর ক্রিয়াশীল বলের অভিমুখই ঐ বিন্দুতে প্রাবল্যের অভিমুখ। স্পষ্টতই, প্রাবল্য একটি ভেক্টর রাশি। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ইহার একক dyn/e. s. u.।

বিস্তৃত আধানের দরুন কোন স্থানের ক্ষেত্র-প্রাবল্য : যে-মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান  $\epsilon$  উহাতে  $+q$  আধান রাখিলে ঐ আধান হইতে  $r$  দূরত্বে উহা একক ধনাত্মক আধানের উপর যে-বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে তাহার মান

$$E = \frac{q}{\epsilon r^2} \quad (\text{কুলম্বের সূত্র হইতে})$$

সংজ্ঞানুসারে, ইহাই  $r$ -দূরত্বে  $q$  আধানের ক্ষেত্র-প্রাবল্য। শূন্যস্থানে বা বায়ুতে  $\epsilon = 1$  ধরিয়া পাই,  $E = q/r^2$ । ইহা একটি ভেক্টর রাশি।

মনে করি, কোন নির্দেশতন্ত্রের মূলবিন্দু O-তে  $q$ -আধান রাখা হইল (চিত্র 2.2)।



ইহার নিকটবর্তী কোন একটি বিন্দু P-তে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য

$$\text{চিত্র 2.2} \quad E = \frac{q \times 1}{\epsilon r^2} \quad \vec{n} = \frac{q}{\epsilon r^2} \vec{n}$$

এখানে  $\vec{n}$  হইল O হইতে P-বিন্দুর দিকে ক্রিয়াশীল একক ভেক্টর। O-বিন্দুর সাপেক্ষে

P-বিন্দুর অবস্থান ভেক্টর  $\vec{r}$  হইলে  $\vec{n} = \frac{\vec{r}}{r}$

$$\therefore \text{P-বিন্দুর তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য, } E = \frac{q}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = \frac{q}{\epsilon r^3} \cdot \vec{r} \quad \dots \quad (2.8)$$

শূন্যস্থানে (বাস্তুতে) তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য

$$E = \frac{q}{r^2} \cdot \vec{n} = \frac{q}{r^2} \cdot \vec{r} \quad (\epsilon = 1 \text{ বলিয়া})$$

• সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণলী •

**উদাহরণ ২.১** ঋণাত্মক তড়িতে আহিত ০.১ গ্রাম ওজননের একটি পিথ-বল উহা হইতে ২ সেন্টিমিটার উপরে রক্ষিত একটি ধনাত্মক তড়িদাহিত বস্তু আকর্ষণে শূন্য স্থির রহিয়াছে (চিত্র ২.৩)। পিথ-বলের ঋণাত্মক আধান  $-20 \text{ e. s. u.}$  হইলে বস্তুটির আধানের মান কত? ( $g = 980 \text{ cm/sec}^2$ )

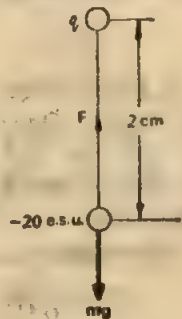
**সমাধান :** মনে করি, বস্তুটির আধান  $= q \text{ e. s. u.}$   
কুলম্বের সূত্রানুসারে, পিথ-বলের উপর ক্রিয়াশীল আকর্ষণ-বল,

$$F = \frac{q \times 20}{2^2} = 5q \text{ ডাইন}$$

পিথ-বলের ওজন  $= mg = 0.1 \times 980 = 98 \text{ ডাইন}$

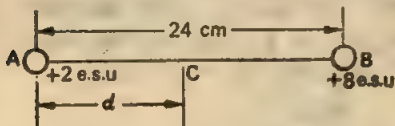
প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $5q = 98$

$$\therefore q = 19.6 \text{ e. s. u.}$$



চিত্র ২.৩

**উদাহরণ ২.২** শূন্যস্থানে ২৪ সেন্টিমিটার দূরত্বে অবস্থিত A এবং B বিন্দুতে যথাক্রমে  $+2$  এবং  $+8$  একক আধান রাখিলে উহারা পরস্পরের উপর কী বল প্রয়োগ করিবে? AB রেখার উপর A হইতে  $d \text{ cm}$  দূরত্বে প্রাবল্য শূন্য হইলে  $d$ -এর মান কত (চিত্র ২.৪)?



চিত্র ২.৪

**সমাধান :** A ও B বিন্দুতে রক্ষিত আধানদ্বয়ের পারস্পরিক বিকর্ষণ-বল

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{2 \times 8}{24 \times 24} = \frac{1}{36} \text{ dyn}$$

C বিন্দুতে প্রাবল্যের মান শূন্য বলিয়া

$$\frac{2}{d^2} - \frac{8}{(24-d)^2} = 0 \text{ বা, } d^2 + 16d - 24 \times 8 = 0$$

ইহা সমাধান করিয়া পাওয়া যায়,  $d = 8 \text{ cm}$  এবং  $-24 \text{ cm}$ ।  $d$ -এর ঋণাত্মক মানটি উপেক্ষা করিয়া পাই,  $d = 8 \text{ cm}$

**উদাহরণ ২.৩** দুইটি আধানের মান Q, ইহারা পরস্পর হইতে  $r$  দূরত্বে রহিয়াছে। একটি তৃতীয় আধান  $q$ -কে উক্ত দুই আধানের সংযোজী সরলরেখার উপর এমনভাবে স্থাপন করা হইল যাহাতে উক্ত আধান তিনটি সাম্যাবস্থার থাকে।  $q$  আধানের মান, প্রকৃতি ও অবস্থান কী হইবে? (সংসদের নমুনা প্রশ্ন, ১৯৭৯)

**সমাধান :** মনে করি, Q মানের আধান দুইটিকে A এবং B বিন্দুতে রাখা হইয়াছে (চিত্র ২.৫)। ইহাদের দূরত্ব  $r$ । ধরি, তৃতীয় আধান  $q$ -কে A বিন্দু হইতে  $x$  দূরত্বে C বিন্দুতে স্থাপন করা হইয়াছে।



এখন, A বিন্দুতে অবস্থিত Q আধানটি B বিন্দুতে অবস্থিত Q আধান-কর্তৃক বিকর্ষিত হয়। কাজেই, এই বিকর্ষণ বলকে প্রতিরোধ করিয়া A বিন্দুতে বিদ্যমান Q আধানকে



চিত্র 2.5

সাম্যে রাখিতে হইলে এই আধানটির উপর C বিন্দুতে অবস্থিত q আধানকে উক্ত বিকর্ষণ বলের সমান আকর্ষণ প্রয়োগ করিতে হইবে। সুতরাং, q-এর আধানের প্রকৃতি Q-এর বিপরীতধর্মী। অর্থাৎ, Q ধনাত্মক হইলে q ঋণাত্মক হইবে।

A বিন্দুতে অবস্থিত Q আধানের সাম্য বিবেচনা করিয়া লেখা যায়,

$$\frac{Qq}{x^2} = \frac{QQ}{r^2} \quad \dots (i)$$

C বিন্দুতে অবস্থিত q আধানের সাম্য বিবেচনা করিয়া লেখা যায়,

$$\frac{Qq}{x^2} = \frac{Qq}{(r-x)^2} \quad \text{বা, } x^2 = (r-x)^2 \quad \text{বা, } x = \frac{r}{2} \quad \dots (ii)$$

সুতরাং, q আধানটিকে A এবং B বিন্দুর সংযোগী সরলরেখার মধ্যবিন্দুতে স্থাপন করিতে হইবে।

(i) নং সমীকরণে x-এর মান বসাইয়া পাই,

$$\frac{Qq}{(r^2/4)} = \frac{QQ}{r^2} \quad \text{বা, } 4q = Q \quad \text{বা, } q = \frac{Q}{4}$$

অর্থাৎ, q-এর মান Q-এর এক-চতুর্থাংশের সমান হইবে।

**উদাহরণ 2.4** m ভরের একই প্রকার দুইটি বলকে l দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট সিলিন্ডার সূতার সাহায্যে একটি বিন্দু হইতে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। উভয় বলে q পরিমাণ তড়িদাধান রাখিয়াছে (চিত্র 2.6)। যদি সিলিন্ডার সূতা দুইটির অন্তর্বর্তী কোণ  $\theta$ -এর মান ক্রম হইতে তাহা হইলে দেখাও যে, সাম্যাবস্থার বল দুইটির দূরত্ব  $x = \left( \frac{2q^2 l}{mg\epsilon} \right)^{\frac{1}{2}}$

এখানে,  $g$  = অভিকর্ষক দ্রবণ এবং  $\epsilon$  = মাধ্যমের তড়িৎ-মাধ্যমাক্ষক।

**সমাধান :** প্রতিটি বলের উপর তিনটি বল ক্রিয়া করিতেছে, যথা—(i) বলের ওজন  $mg$ ,

(ii) গোলকদ্বয়ের পারস্পরিক বিকর্ষণ বল,  $\frac{q^2}{\epsilon x^2}$  এবং (iii) সূতার টান, T

সূতার টান (T) O-বিন্দুর মধ্য দিয়া ত্রিভুজাঙ্গী বলিয়া

O-বিন্দুর সাপেক্ষে ইহার ভ্রামক শূন্য।

O-বিন্দুর সাপেক্ষে কোন বলের ওজন  $mg$ -এর

ভ্রামক =  $mg \times l \sin \theta$  ... (i)

এই ভ্রামক দক্ষিণাবর্তী (clockwise)।

O-বিন্দুর সাপেক্ষে  $\frac{q^2}{\epsilon x^2}$ -এর ভ্রামক

$$= \frac{q^2}{\epsilon x^2} l \cos \theta \quad \dots (ii)$$

এই ভ্রামক বামাবর্তী (anticlockwise)। সাম্যাবস্থার দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী

ভ্রামক পরস্পর সমান বলিয়া  $mg l \sin \theta = \frac{q^2}{\epsilon x^2} l \cos \theta$  বা,  $mg \theta = \frac{q^2}{\epsilon x^2}$



চিত্র 2.6

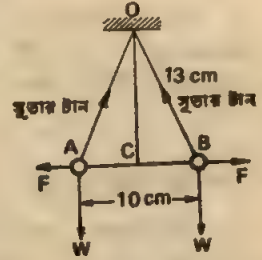
(কেননা,  $\theta$  ক্ষুদ্র বলিয়া  $\sin \theta = \theta$  এবং  $\cos \theta = 1$ )

$$\text{বা, } x^3 \theta = \frac{q^2}{mge} \quad \dots (iii)$$

আবার,  $\theta = \frac{x}{2l}$  বলিয়া, সমীকরণ (iii) হইতে

$$x^3 = \frac{2lq^2}{mge} \quad \text{বা, } x = \left( \frac{2lq^2}{mge} \right)^{\frac{1}{3}}$$

**উদাহরণ 2.5** 0.1 gm ভরবিশিষ্ট এবং সমান তড়িদাধানবৃত্ত দুইটি ক্ষুদ্র পিথ-বলকে একটি বিন্দু হইতে 13 cm দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দুইটি সূতার সাহায্যে ঝুলাইয়া দেওয়া হইয়াছে। পারস্পরিক বিকর্ষণের ফলে ইহারা পরস্পর হইতে 10 cm দূরে সরিয়া গেল (চিত্র 2.7)। (i) উহাদের পারস্পরিক বিকর্ষণ-বল এবং (ii) প্রতিটি পিথ-বলের তড়িদাধানের মান নির্ণয় কর।



চিত্র 2.7

**সমাধান :** মনে করি, দুইটি পিথ-বলের পারস্পরিক বিকর্ষণ-বল =  $F$  dyn এবং পিথ-বলের ওজন,  $W = 0.1 \times 981 \text{ dyn} = 98.1 \text{ dyn}$

O-বিন্দুর সাপেক্ষে B-এর উপর ত্রিাশীল  $F$  বলের ভ্রামক

$$= F \times OC \quad (\text{এই ভ্রামক বামাবর্তী}).$$

অনুরূপভাবে, O-বিন্দুর সাপেক্ষে  $W$ -বলের ভ্রামক =  $W \times BC$  (এই ভ্রামক দক্ষিণাবর্তী)

সাম্যাবস্থায় এই দুই ভ্রামক সমান বলিয়া লেখা যায়,  $F \times OC = W \times BC$

$$\therefore F = W \times \frac{BC}{OC} = 98.1 \times \frac{BC}{\sqrt{OB^2 - BC^2}}$$

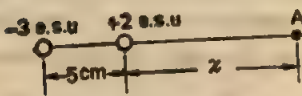
$$= 98.1 \times \frac{5}{\sqrt{13^2 - 5^2}} = \frac{98.1 \times 5}{12} = 41 \text{ dyn}$$

যদি উভয় পিথ-বলের তড়িদাধানের মান  $q$  হয় তাহা হইলে

$$F = \frac{q^2}{AB^2} = \frac{q^2}{10^2} \quad \therefore q = \sqrt{F \times 10} = 10 \times \sqrt{41} = 64 \text{ e. s. u. (প্রায়)}$$

**উদাহরণ 2.6** 5 cm দূরে অবস্থিত দুইটি ষাডব গোলকের তড়িদাধান যথাক্রমে  $-3 \text{ e. s. u.}$  এবং  $+2 \text{ e. s. u.}$ । উহাদের কেন্দ্রের সংযোগী সরলরেখার উপর কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান শূন্য হইবে?

**সমাধান :** মনে করি, নির্ণয়ের বিন্দুটি A (চিত্র 2.8)। ইহা  $+2 \text{ e. s. u.}$  তড়িদাধান হইতে  $x \text{ cm}$  দূরে অবস্থিত। A-বিন্দুটি



চিত্র 2.8

তড়িদাহিত গোলকদ্বয়ের মধ্যবর্তী অঞ্চলে অবস্থিত হইতে পারে না, কেননা এই অঞ্চলে উভয় গোলকের তড়িৎ-ক্ষেত্র একই দিকে ত্রিাশীল। তাহা ছাড়া, A-বিন্দুটি অশূন্য-কৃত কম মানের আধান  $+2 \text{ e. s. u.}$ -এর নিকটবর্তী হইবে। সুতরাং,

- 3 e.s.u. ভাঁড়মাধান হইতে A-বিন্দুর দূরত্ব =  $(5+x)$  cm

+ 2 e.s.u. ভাঁড়মাধানের ফলে A-বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য =  $\frac{2}{x^2}$  e.s.u.

- 3 e.s.u. ভাঁড়মাধানের ফলে A-বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য =  $\frac{-3}{(5+x)^2}$  e.s.u.

লব্ধি প্রাবল্যের মান শূন্য বলিয়া

$$\frac{2}{x^2} - \frac{3}{(5+x)^2} = 0 \quad \text{বা, } x^2 - 20x - 50 = 0$$

বা,  $x = 22.25$  cm এবং  $-2.25$  cm

এক্ষেত্রে x-এর ধনাত্মক মান 22.25 cm-ই একমাত্র গ্রহণযোগ্য, কেননা x-এর মান ঋণাত্মক হইলে A-বিন্দুটি ভাঁড়মাধানস্থরের মধ্যবর্তী অঞ্চলে অবস্থিত হইবে। কিন্তু তাহা সম্ভব নয়।

## 2.4 তড়িৎ-বলরেখা (Electric lines of force)

কোন তড়িৎ-ক্ষেত্রে একটি অতি ক্ষুদ্র মুক্ত ধনাত্মক আধান রাখিলে উহা একটি বল অনুভব করিবে এবং ঐ বলের প্রভাবে আধানটি চলিতে থাকিবে। আধানের এই সঞ্চারপথকেই তড়িৎ-বলরেখা বলা হয়। তড়িৎ-ক্ষেত্রের চিত্রে ইহাদিগকে রেখার সাহায্যে নির্দেশ করা হয়। তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন স্থানে ধনাত্মক আধানের গতিমুখ এবং ঋণাত্মক আধানের গতিমুখ পরস্পরের বিপরীত। কোন বিন্দুতে ধনাত্মক আধান রাখিলে উহা যে-অভিমুখে চলিতে থাকিবে তাহাই ঐ বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্যের তথ্য বলরেখার অভিমুখ। বলরেখার চিত্রে তীরচিহ্নের সাহায্যে ঐ অভিমুখ নির্দেশ করা হয়। আধানের সঞ্চারপথের যে-কোন বিন্দুতে প্রাবল্যের গতিমুখ ঐ পথের স্পর্শক অভিমুখী। সুতরাং, বলরেখার কোন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক-নির্দেশ করে। কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দিষ্ট বলিয়া বলরেখাগুলি পরস্পরকে ছেদ করে না। অর্থাৎ, প্রতিটি বিন্দু দিয়া একটিমাত্র বলরেখা অঙ্কন করা যায়। উপরের আলোচনার ভিত্তিতে বলরেখার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া যায়—

- (i) তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন স্থানে একটি অতি ক্ষুদ্র মুক্ত ধনাত্মক আধান ছাড়িয়া দিলে ক্ষেত্রের প্রাবল্যের ক্রিয়ায় উহা যে-পথ ধরিয়া চলে তাহাকে তড়িৎ-বলরেখা বলা হয়।
- (ii) তড়িৎ-ক্ষেত্রে যদি এমন একটি রেখা আঁকা যায় যাহার কোন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে তবে ঐ রেখাকে তড়িৎ-বলরেখা বলা হয়।

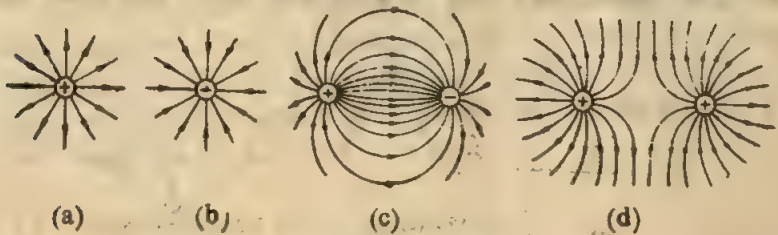
**বলরেখার ধর্ম :** বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে প্রথম তড়িৎ-ক্ষেত্রে বলরেখার কল্পনা করেন। ইহার সাহায্যে তিনি দুইটি আহিত বস্তুর পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করেন। এই উদ্দেশ্যে তিনি বলরেখার কতকগুলি ধর্ম আছে বলিয়া কল্পনা করেন। ইহার নিম্নরূপ—

- (i) তড়িৎ-বলরেখা ধনাত্মক আধান হইতে শুরু হয় এবং ঋণাত্মক আধানে গিয়া শেষ হয়।
- (ii) দুইটি বলরেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করিতে পারে না।

করিলে হেদবিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য দুইটি বিভিন্ন দিকে ক্রিয়া করিত। কিন্তু ইহা সম্ভব নহে। তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রতিটি বিন্দুতে ক্ষেত্রের প্রাবল্য একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে ক্রিয়াশীল বলিয়া প্রত্যেক বিন্দু দিয়া একটি করিয়া বলরেখা আঁকা যায়। (iii) বল-রেখাগুলি টান-খাওয়া স্থিতিস্থাপক সূতার ন্যায় সর্বদা দৈর্ঘ্যে সম্পূর্ণ হইতে চায়। (iv) প্রত্যেক বলরেখা পার্শ্বদিকে (laterally) পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। (v) কোন পরি-বাহীর পৃষ্ঠে সূচনা বা সমাপ্তি হইলে বলরেখাগুলি পরিবাহীর পৃষ্ঠের সাহিত সমকোণে অবস্থিত থাকে (অনুচ্ছেদ 2.13 দ্রষ্টব্য)।

কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্রে বলরেখার রূপ : চৌম্বক ক্ষেত্রে লৌহচূর্ণের সাহায্যে বল-রেখার মানচিত্র পাওয়া যায়। তড়িৎ-ক্ষেত্রেও অনুরূপ প্রক্রিয়া সম্ভব। রেশমের বা পশুলোমের ছোট ছোট কুচি বা জিপ্সাম স্ফটিকের ছোট ছোট দানার সাহায্যে তাঁর তড়িৎ-ক্ষেত্রের বলরেখার মানচিত্র আঁকা যায়। কাচ বা কাগজে এইরূপ দানা ও কুচি ছড়াইয়া দিয়া কাচে বা কাগজে আস্তে আস্তে টোকা দিলে দানা বা কুচিগুলি বলরেখা বরাবর সজ্জিত হইয়া যায়। 2.8 নং চিত্রে কতকগুলি বিশেষ ক্ষেত্রে বলরেখাগুলি কীরূপ তাহা দেখান হইয়াছে।

2.9 (a) নং চিত্রে অন্যান্য পরিবাহী ও আহিত বস্তু অপেক্ষা বহুদূরে অবস্থিত ধনাত্মক তড়িদাহিত গোলকের বলরেখা দেখান হইয়াছে। তীরচিহ্নের সাহায্যে বলরেখাগুলির অভিমুখ সূচিত হইয়াছে। বলরেখাগুলি বাহ্যমুখী এবং সুবিন্যাসে সজ্জিত। পক্ষাভ্যাসকে বর্ণিত করিলে উহা গোলকের কেন্দ্রে মিলিত হয়। 2.9 (b) নং চিত্রে অন্যান্য পরিবাহী বা আহিত বস্তুর প্রভাবমুক্ত ঋণাত্মক তড়িদাহিত গোলকের বলরেখা দেখান হইয়াছে।



চিত্র 2.9

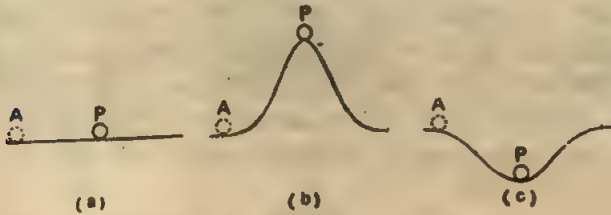
ধনাত্মক তড়িদাহিত গোলকের বলরেখার সাহিত ইহাদের পার্থক্য এই যে, বলরেখাগুলি অন্তর্মুখী। 2.9 (c) নং চিত্রে নিকটবর্তী দুইটি বিপরীতধর্মী তড়িদাহিত গোলকের বলরেখা দেখান হইয়াছে। ধনাত্মক তড়িদাহিত গোলক হইতে বাহির হইয়া কিছুদূর পর্যন্ত বলরেখা ঋণাত্মক তড়িদাহিত গোলকে গিয়া শেষ হইয়াছে। বলরেখার অনুদৈর্ঘ্য সম্প্রসারণ-প্রবণতার জন্য এক্ষেত্রে বিপরীতধর্মী তড়িদাহিত গোলকদ্বয় পরস্পরের দিকে আকৃষ্ট হইবে। 2.9 (d) নং চিত্রে দুইটি সমজাতীয় ও সমপরিমাণ তড়িদাহিত গোলকের বলরেখা দেখান হইয়াছে। বলরেখাগুলি পাশের দিকে পরস্পরকে বিকর্ষণ করে—বলরেখার এই ধর্ম আছে কম্পনা করিলে আহিত গোলকদ্বয়ের পারস্পরিক বিকর্ষণের কারণ সহজেই বুঝা যায়।



## 2.5 তড়িৎ-বিভব (Electric potential)

তড়িৎ-প্রভাবমুক্ত কোন অঞ্চলে একটি তড়িদাধান রাখিলে উহার চারিদিকে একটি পরিবর্তন ঘটে। আধানটি রাখিবার পূর্বে এবং পরে মাধ্যমের অবস্থা এক থাকে না। একটি মাধ্যমের কোন অঞ্চল তড়িৎ-প্রভাবমুক্ত হইলে একটি অতি ক্ষুদ্র তড়িৎ-বিন্দুকে (point charge) এক স্থান হইতে অন্যস্থানে লইয়া যাইতে কোনরূপ তড়িৎ-বল অনুভূত হয় না অর্থাৎ তড়িৎ-বল দ্বারা বা তড়িৎ-বলের বিরুদ্ধে কোনরূপ কার্য হয় না। মাধ্যমের কোন অঞ্চলে কোন তড়িদাহিত বস্তু থাকিলে একটি তড়িৎ-বিন্দুকে ঐ অঞ্চলের একস্থান হইতে স্থানান্তরে লইয়া যাইতে চাহিলে, হয় তড়িৎ-বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়, না হয় তড়িৎ বলই কার্য করে। কোন স্থানে একটি ধনাত্মক তড়িদাহিত বস্তু রাখিয়া একটি ধনাত্মক তড়িৎ-বিন্দুকে উহার নিকট আনিতে চাহিলে আহিত বস্তুর বিকর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। যুক্ত অবস্থায় ঐ ধন-তড়িৎ-বিন্দুকে ঐ স্থানে ছাড়িয়া দিলে ধনাত্মক তড়িদাহিত বস্তুটির বিকর্ষণ বলের প্রভাবে উহা দূরে সরিয়া যাইতে থাকে। তখন বিকর্ষণ বল দ্বারা কার্য হয়। সুতরাং বুঝা যাইতেছে যে, কোন মাধ্যমে তড়িদাধান রাখিলে মাধ্যমের একটি বিশেষ অবস্থান্তর ঘটে বাহার ফলে কোন আধানকে একস্থান হইতে অন্য স্থানে লইয়া যাইতে হইলে কার্য করিতে হয়। আধানের উপস্থিতির ফলে মাধ্যমের কোন স্থানে এইরূপ পরিবর্তন হইলে আমরা বলি যে, ঐ স্থান তড়িৎ-বিভব প্রাপ্ত হইয়াছে।

একটি উপমায়া সাহায্য লইলে তড়িৎ-বিভব সম্বন্ধে ধারণা আরও স্পষ্ট হইবে। মনে করা যাক, অনুভূমিকভাবে একটি তাঁবু টাঙান আছে [চিত্র 2.10 (a)]। তাঁবুর নিচ হইতে খুঁটির সাহায্যে উহাকে কিছুটা উঁচু করিয়া দেওয়া হইল। তাহা হইলে তাঁবুর



চিত্র 2.10

প্রান্ত হইতে মাঝের দিক ক্রমশ উঁচু হইয়া আসিবে [চিত্র 2.10 (b)]। তাঁবুটি যখন অনুভূমিক অবস্থায় থাকে তখন কোন বিন্দুকে উহার প্রান্ত A হইতে মধ্যবিন্দু P-এর দিকে লইয়া যাইতে অভিকর্ষ-বলের বিরুদ্ধে কোনরূপ কার্য করিতে হয় না। কিন্তু মাঝখানে খুঁটি দিয়া P-বিন্দুকে উঁচু করিয়া ধরিলে A-প্রান্ত হইতে কোন বস্তুকে P-বিন্দুর দিকে লইয়া যাইতে হইলে ক্রমেই উপরে উঠিতে হয় বলিয়া অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে ক্রমাগত কার্য করিতে হয়।

নিচ হইতে খুঁটি না দিয়া তাঁবুর মাঝখানে একটি ভারী বস্তু রাখিয়া বা অন্য কোন উপায়ে তাঁবুর মধ্যস্থল নিচু করা হইল। ইহাতে প্রান্ত হইতে মধ্যস্থল ক্রমশ নিচু হইয়া আসিবে [চিত্র 2.10 (c)]। এ অবস্থায় A-প্রান্ত হইতে কোন বস্তুকে মধ্যবিন্দু P-এর

দিকে আনিতে চাইলে অভিকর্ষ বল নিজেই কার্য করিবে এবং বস্তুকে টানিয়া নামাইবে।

এখানে অনুভূমিক তাঁবু তড়িৎ-প্রভাবমুক্ত মাধ্যমের সহিত তুলনীয়। তাঁবু অনুভূমিক অবস্থায় থাকিলে যেমন কোন বস্তুকে উহার একস্থান হইতে অন্য স্থানে লইয়া যাইতে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে বা উহা দ্বারা কোন কার্য হয় না, তদূপ অন্য আধানের প্রভাবমুক্ত অঞ্চলে কোন আধানকে সরাইতে তড়িৎ-বলের বিরুদ্ধে বা উহার দ্বারা কার্য হয় না। তাঁবুর মধ্যস্থল উঁচু করিবার সহিত মাধ্যমের কোন স্থানে ধনাত্মক তড়িদাধান রাখা তুলনীয়। যে-স্থানে আধানটি রাখা হইল তাহা তাঁবুর উচ্চতম বিন্দু P-এর সহিত তুলনীয়। কোন ধনাত্মক তড়িৎ-বিন্দুকে ইহার কাছে আনিতে হইলে বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে ক্রমাগত কার্য করিতে হয়, ঠিক যেমন তাঁবুর মাঝের দিকে কোন বস্তুকে আনিতে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে ক্রমাগত কার্য করিতে হয়। তাঁবুর মধ্যস্থল নিচু করিবার সহিত মাধ্যমের কোন বিন্দুতে ঋণাত্মক তড়িদাধান রাখার তুলনা করা যায়। কোন ধনাত্মক আধানকে উহার কাছে আনিবার সময় ঐ দুই আধানের উপর ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বলই কার্য করে, ঠিক যেমন বস্তুকে পার্শ্ববর্তী স্থান হইতে মধ্যস্থলের দিকে টানিয়া আনিবার সময় অভিকর্ষ বল কার্য করে। তাঁবুকে উঁচু ও নিচু করার সহিত মাধ্যমের বিভিন্ন স্থানে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িদাধান স্থাপন করার তুলনা করা যায়। তাঁবুর মধ্যস্থল উঁচু বা নিচু করার ফলে যেমন বিভিন্ন বিন্দুর উচ্চতার পার্থক্য হয় মাধ্যমের কোন বিন্দুতে আধান রাখিলে তেমনি মাধ্যমের বিভিন্ন বিন্দুতে একটা অবস্থাভেদের সৃষ্টি হয়। তড়িৎ-বিভব বলিতে এই অবস্থা এবং বিভব-বৈষম্য (potential difference) বলিতে তড়িৎ-সম্বন্ধীয় এই অবস্থাভেদ বুঝায়।

কোন নির্দিষ্ট মানের ভরকে তাঁবুর একস্থান হইতে অন্যস্থানে লইয়া যাইতে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে বা উহা দ্বারা যে-পরিমাণ কার্য করা হয় তাহা নির্ধারিত হয় ঐ দুই স্থানের উচ্চতার পার্থক্যের দ্বারা। তেমনি কোন নির্দিষ্ট মানের আধানকে তড়িৎ-ক্ষেত্রের একস্থান হইতে অন্যস্থানে লইয়া গেলে কতটা কার্য হইবে তাহা নির্ধারিত হয় ঐ দুই স্থানের বিভব-বৈষম্যের দ্বারা।

## 2.6 শিশু-টেশম্য (Potential difference)

কোন মাধ্যমের এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে তড়িদাধান লইয়া গেলে যদি কার্য সম্পাদিত হয় তাহা হইলে বলা হয় যে, ঐ বিন্দুতে বৈদ্যুতিক বিভব-বৈষম্য রহিয়াছে। কোন বিন্দু হইতে অপর কোন বিন্দুতে একক পরিমাণ ধনাত্মক আধান লইয়া গেলে ঐ আধানের উপর ক্রিয়াশীল তড়িৎ-বলের বিরুদ্ধে যে-পরিমাণ কার্য হয় তাহাই ঐ দুই বিন্দুর বিভব-বৈষম্যের মান। প্রথম বিন্দু হইতে দ্বিতীয় বিন্দুতে কোন ধনাত্মক আধান লইয়া গেলে যদি তড়িৎ-বলের বিরুদ্ধে কার্য হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, দ্বিতীয় বিন্দুটি উচ্চতর বিভব (higher potential)-এ রহিয়াছে; অপরপক্ষে যদি তড়িৎ-বল দ্বারা কার্য সম্পাদিত হয় তবে দ্বিতীয় বিন্দুটি নিম্নতর বিভব (lower potential)-এ আছে এইরূপ বলা হয়।

মনে করি, A এবং B কোন তড়িৎ-ক্ষেত্রে অবস্থিত দুইটি বিন্দু। এই দুই স্থানে

তড়িৎ-বিভব যথাক্রমে  $\phi_A$  এবং  $\phi_B$  (ধরি)। সুতরাং, একক মানের ধনাত্মক আধানকে A হইতে B-বিন্দুতে আনিতে কৃত কার্য  $= \phi_B - \phi_A$

যদি A-বিন্দুটি এমন হয় যেখানে তড়িৎ-বিভবের মান শূন্য অর্থাৎ যদি  $\phi_A = 0$  হয় তাহা হইলে ঐ স্থান হইতে একক ধনাত্মক আধানকে B-বিন্দুতে আনিতে যে-কার্য হয় তাহাই B-বিন্দুর তড়িৎ-বিভবের পরম মান (absolute value)। A-বিন্দুটি অসীমে অবস্থিত হইলে ধরা যায় যে,  $\phi_A = \phi_\infty = 0$ । কেননা তড়িৎ-ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধান হইতে অসীম দূরত্বে ঐ আধানের কোন প্রভাব পরিলক্ষিত হয় না। সুতরাং, কোন বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায়—

অসীম দূরত্ব হইতে একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে লইয়া আসিতে আধানের উপর ক্রিয়াশীল তড়িৎ-বলের বিরুদ্ধে যে-পরিমাণ কার্য করিতে হয় তাহাই ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের মান। কোন স্থানের বিভব  $\phi$  হইলে ঐ স্থানে  $q$  পরিমাণ আধান আনিতে মোট কার্য হয়

$$W = q\phi$$

অর্থাৎ, কৃত কার্য  $=$  তড়িৎ-বিভব  $\times$  আধানের পরিমাণ ... (2.9)

এই কার্য করিতে যে-শক্তি ব্যয়িত হয় তাহা স্থিতিশক্তিরূপে তড়িৎ-ক্ষেত্রে সঞ্চিত থাকে।

## 2.7 বিভবের একক

অসীম দূরত্ব হইতে একক পরিমাণ আধান তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিতে একক কার্য সম্পাদিত হইলে সেই বিন্দুতে বিভবের মান একক ধরা হয়।

(i) অসীম দূরত্ব হইতে 1 e. s. u. ধনাত্মক আধানকে কোন বিন্দুতে আনিতে যদি 1 আর্গ কার্য সম্পাদিত হয় তাহা হইলে ঐ বিন্দুর বিভবকে বিভবের এক স্থির তড়িৎ-একক (electrostatic unit) বলা হয়। 1 e. s. u. বিভবকে স্ট্যাটভোল্ট (statvolt)-ও বলা হয়।

(ii) অসীম দূরত্ব হইতে 1 তড়িচ্চুম্বকীয় একক (1 e. m. u.) আধানকে কোন বিন্দুতে আনিতে যদি 1 আর্গ কার্য সম্পাদিত হয় তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে বিভবের এক তড়িচ্চুম্বকীয় একক (1 e. m. u.) বলা হয়।

1 e. m. u. আধান  $= 3 \times 10^{10}$  e. s. u. আধান এবং উভয় ক্ষেত্রেই কৃত কার্যের পরিমাণ সমান (1 আর্গ) বলিয়া বিভবের তড়িচ্চুম্বকীয় একক (1 e. m. u.)

$$= \frac{1}{3 \times 10^{10}} \text{ স্থির তড়িৎ-একক (e. s. u.)}$$

বিভবের ব্যবহারিক একক : বিভবের ব্যবহারিক এককের নাম ভোল্ট (volt)। এক কুলম্ব ধনাত্মক তড়িৎআধানকে অসীম দূরত্ব হইতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিতে যদি 1 জুল কার্য সম্পাদিত হয় তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে ভোল্ট বলা হয়।

$$\text{বিভবের } 1 \text{ e. s. u.} = 300 \text{ volt}$$

বিভব-বৈষম্যের ব্যবহারিক এককও ভোল্ট। এক কুলম্ব আধানকে এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে লইয়া গেলে যদি 1 জুল কার্য সম্পন্ন হয় তবে ঐ দুই বিন্দুর বিভব-বৈষম্য এক ভোল্ট।



## 2.8 স্থিতিশক্তি ও বিভব

কোন বস্তুকে উপরে তুলিতে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। এই কার্য করিতে যে-শক্তি ব্যয়িত হয় তাহা স্থিতিশক্তিরূপে ঐ বস্তুতে সঞ্চিত থাকে। অনুবৃণ-ভাবে, কোন ধনাত্মক তড়িৎ-বিন্দুকে স্থিরভাবে রক্ষিত অপর কোন ধনাত্মক আধানের কাছে লইয়া গেলে বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। এই কার্যে ব্যয়িত শক্তি তড়িৎ-ক্ষেত্রে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে। ধনাত্মক তড়িৎ-বিন্দুকে মুক্ত অবস্থায় কোন স্থান ধনাত্মক আধানের তড়িৎ-ক্ষেত্রে ছাড়িয়া দিলে তড়িৎ-বিন্দুটি বিকর্ষিত হইয়া দূরে সরিয়া যাইতে থাকে এবং উহাতে সঞ্চিত স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকে। আমরা জানি, যে-বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের মান  $\phi$  সেই বিন্দুতে  $q$  একক আধান রাখিলে উহার স্থিতিশক্তির মান  $\phi q$ । যে-বিন্দুতে বিভব বেশি সেই বিন্দুতে ধনাত্মক আধানের স্থিতিশক্তি বেশি। নিম্নতর বিভব-সম্পন্ন বিন্দুতে থাকিলে ধনাত্মক আধানের স্থিতিশক্তিও কম হয়। প্রকৃতির একটা বিশেষ ধর্ম এই যে, সকল ভৌত সংস্থাই (physical system) এমন অবস্থায় থাকিতে চায় যে-অবস্থায় সংস্থার স্থিতিশক্তির মান সর্বনিম্ন (minimum)। এই কারণেই জল উচ্চস্থান হইতে নিম্নস্থানের দিকে থাকিত হয়, প্যাচান স্প্রিং খুলিয়া বাইতে চায়। একই কারণে ধনাত্মক আধান উচ্চতর বিভবসম্পন্ন বিন্দু হইতে নিম্নতর বিভবসম্পন্ন বিন্দুর দিকে বাইতে চায়। ধনাত্মক আধানের প্রয়াস ইহার বিপরীত। অর্থাৎ, তড়িৎ-ক্ষেত্রে কোন ধনাত্মক আধানের উপর যে-বল ক্রিয়া করে তাহা উচ্চতর বিভবসম্পন্ন বিন্দু হইতে নিম্নতর বিভবসম্পন্ন বিন্দুর অভিমুখে। ঋণাত্মক আধানের উপর ক্রিয়াশীল বল উচ্চতর বিভবসম্পন্ন বিন্দুর অভিমুখে।

## 2.9 বিভবের সহিত উচ্চতা ও তরল-পৃষ্ঠের উচ্চতার তুলনা

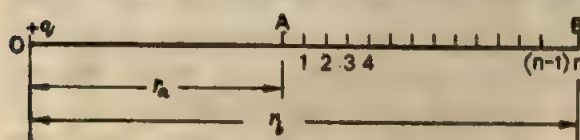
আধানের সহিত তাপের তুলনা করিলে বিভবের সহিত উচ্চতা তুলনীয়। তাপ কোন বস্তু হইতে কোন বস্তুর দিকে প্রবাহিত হইবে তাহা বস্তুদ্বয়ের উচ্চতার উপর নির্ভর করে, উহাদের তাপের পরিমাণের উপর নহে। তাপ সর্বদা উচ্চতর বস্তু হইতে শীতলতর বস্তুর দিকে প্রবাহিত হয়। তদুপ, দুইটি আহিত বস্তুকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনিলে তড়িৎআধান কোন বস্তু হইতে কোন বস্তুর দিকে প্রবাহিত হইবে তাহা বস্তুদ্বয়ের আধানের পরিমাণ দ্বারা নির্ধারিত হয় না, উহাদের বিভব দ্বারা নির্ধারিত হয়। যে-বস্তুর বিভব বেশি ধনাত্মক তড়িৎআধান সেই বস্তু হইতে নিম্নতর বিভবসম্পন্ন বস্তুর দিকে প্রবাহিত হয়।

দুইটি পাত্রে একই তরল রাখিয়া উহাদের একটি নল দ্বারা যুক্ত করিলে কোন পাত্র হইতে কোন পাত্রের দিকে তরল প্রবাহিত হইবে তাহা নির্ভর করিবে দুই পাত্রের তরল-পৃষ্ঠের উচ্চতার উপর, উহাদের তরলের পরিমাণের উপর নয়। দুই পাত্রের তরলের পরিমাণ যাহাই হউক না কেন, যে-পাত্রে তরল-পৃষ্ঠের উচ্চতা বেশি চাপের আধিক্যবশত সেই পাত্র হইতে অন্য পাত্রে তরল প্রবাহিত হয়। সুতরাং, তরলের পরিমাণের সহিত আধান এবং উদ্‌স্থৈতিক চাপের (hydrostatic pressure) সহিত বিভবের তুলনা করা যায়। এই কারণেই বিভবকে তড়িৎচৌম্বক চাপ (electric pressure)-ও বলা হয়।



## 2.10 বিন্দু-আধানের তড়িৎ-ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে বিভবের মান

মনে করা যাক, O-বিন্দুতে  $+q$  পরিমাণ তড়িৎ আধান রাখা আছে (চিত্র 2.11)। O-বিন্দু হইতে  $r_a$  এবং  $r_b$  দূরত্বে একই সরলরেখা বরাবর দুইটি বিন্দু A এবং B কল্পনা



চিত্র 2.11

করা হইল। বিভব-বৈষম্যের সংজ্ঞানুসারে, একক পরিমাণ ধনাত্মক তড়িৎ আধানকে B-বিন্দু হইতে A-

বিন্দুতে লইয়া বাইতে যে-কার্য করিতে হয় তাহাই A ও B বিন্দুর বিভব-বৈষম্য।

A এবং B-বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব  $(r_b - r_a)$ । কিন্তু এই দুই বিন্দুর মধ্যে বিভিন্ন স্থানে একক ধনাত্মক আধান রাখিলে উহার উপর ক্রিয়াশীল বলের মান বিভিন্ন হইবে। A-বিন্দুতে একক ধনাত্মক তড়িৎ আধানের উপর ক্রিয়াশীল তড়িৎ-বলের মান  $q/r_a^2$  এবং B-বিন্দুতে এই বলের মান  $q/r_b^2$ । B হইতে একটি একক ধনাত্মক আধানকে A-বিন্দুতে আনিতে মোট কত কার্য হইবে তাহা নির্ণয় করিবার জন্য AB-দূরত্বকে  $n$ -সংখ্যক ভাগে বিভক্ত করা হইল।  $n$ -এর মান খুব বড় হইলে ঐ বিভক্ত অংশগুলি পরিসরে এত ছোট হইবে যে, এই অংশগুলির মধ্যে তড়িৎ-বল কার্যত অপরিবর্তিত আছে এইরূপ কল্পনা করা যায়। 2.11 নং চিত্রে 1, 2, 3, ...,  $(n-1)$  ইত্যাদি অংশাঙ্কন দ্বারা এইরূপ বিভাগ দেখান হইয়াছে। মনে করি, O হইতে 1 চিহ্নিত বিন্দুর দূরত্ব  $r_1$ , 2 চিহ্নিত বিন্দুর দূরত্ব  $r_2$ , ...  $(n-1)$  চিহ্নিত বিন্দুর দূরত্ব  $r_{n-1}$  ইত্যাদি। O-বিন্দু হইতে  $r_1$  দূরত্বে ক্ষেত্রের প্রাবল্য  $q/r_1^2$  এবং  $r_2$  দূরত্বে ক্ষেত্রের প্রাবল্য  $q/r_2^2$ । যদি  $r_1$  এবং  $r_2$ -এর ব্যবধান খুব কম হয় তবে 1 ও 2 চিহ্নিত বিন্দুদ্বয়ের মধ্যবর্তী অঞ্চলে গড় প্রাবল্য  $q/r_1 r_2$  ধরা যাইবে। অর্থাৎ,  $r_1$  হইতে  $r_2$  পর্যন্ত দূরত্বের অবকাশে প্রাবল্যের মান  $q/r_1 r_2$ -এ অপরিবর্তিত রহিয়াছে এইরূপ মনে করা যায়। সুতরাং, একক পরিমাণ ধনাত্মক আধানকে  $r_1$  হইতে  $r_2$  দূরত্বে আনিতে যে-কার্য করিতে হইবে তাহার পরিমাণ

$$= \frac{q}{r_1 r_2} (r_2 - r_1) = \left( \frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2} \right)$$

সুতরাং, একক ধনাত্মক তড়িৎ আধানকে B হইতে A-বিন্দুতে আনিতে যে-কার্য (W) করিতে হয় তাহার পরিমাণ

$$W = \left( \frac{q}{r_{n-1}} - \frac{q}{r_b} \right) + \left( \frac{q}{r_{n-2}} - \frac{q}{r_{n-1}} \right) + \dots + \left( \frac{q}{r_2} - \frac{q}{r_1} \right) + \left( \frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_a} \right) = \left( \frac{q}{r_a} - \frac{q}{r_b} \right)$$

∴ অসীম দূরত্ব হইতে একক ধনাত্মক আধানকে A-বিন্দুতে আনিতে যে-কার্য করিতে হয় তাহার মান,  $W = q \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{\infty} \right) = \frac{q}{r_a}$

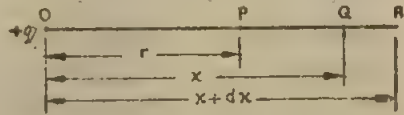
সংজ্ঞানুসারে ইহাই A-বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের মান। সুতরাং, সাধারণভাবে বলা যায় যে,  $+q$  আধান হইতে  $r$  দূরত্বে তড়িৎ-বিভব

$$\phi = \frac{q}{r} = \frac{\text{আধান}}{\text{দূরত্ব}} \quad \dots (2.10)$$

● কলনবিদ্যার সাহায্যে কোন বিন্দুর তড়িৎ-বিভব নির্ণয়

মনে করি, O বিন্দুতে একটি বিন্দু-আধান  $+q$  রাখা হইয়াছে। এই আধানের উপস্থিতির ফলে O বিন্দু হইতে  $r$ -দূরত্বে অবস্থিত P-বিন্দুতে বিভবের মান কত হইবে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। বাঁধত OP রেখার উপর দুইটি বিন্দু Q এবং R বিবেচনা করা যাক (চিত্র 2.12)।

O বিন্দু হইতে Q এবং R-বিন্দুর দূরত্ব যথাক্রমে  $x$  এবং  $x + dx$ ; মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান  $\epsilon$  হইলে



চিত্র 2.12

Q বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য,  $E = \frac{q}{\epsilon x^2}$  এবং ইহার অভিমুখ Q হইতে R-এর দিকে।

এখন, Q এবং R বিন্দুর বিভব-বৈষম্য  $d\phi$  হইলে লেখা যায়,

$d\phi$  = একক আধানকে R হইতে Q-তে আনিতে কৃত কার্য

= একক আধানের উপর ক্রিয়াশীল বল  $\times$  সরণ

$$= -\frac{q}{\epsilon x^2} dx \quad \dots (i)$$

এখানে ঋণাত্মক চিহ্নটি লইবার কারণ এই যে, এক্ষেত্রে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য এবং সরণ পরস্পর বিপরীতমুখী।

অসীম দূরত্বে হইতে একক আধানকে P বিন্দুতে আনিতে মোট যে-কার্য করিতে হয়, তাহাই P বিন্দুর তড়িৎ-বিভব। কাজেই (i) নং সমীকরণকে  $x = \infty$  হইতে  $x = r$  — এই সীমার মধ্যে সমাকলন করিয়া পাই,

$$\phi = -\int_{\infty}^r \frac{q}{\epsilon x^2} dx = -\frac{q}{\epsilon} \int_{\infty}^r x^{-2} dx = -\frac{q}{\epsilon} \left[ \frac{x^{-2+1}}{-2+1} \right]_{\infty}^r$$

$$\left( \text{যেহেতু, } n = -1 \text{ না হইলে } \int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \right)$$

$$\therefore \phi = -\frac{q}{\epsilon} \left[ -\frac{1}{x} \right]_{\infty}^r = \frac{q}{\epsilon r}$$

শূন্যস্থানে  $\epsilon$ -এর মান 1 বলিয়া সেক্ষেত্রে

$$\phi = \frac{q}{r} = \frac{\text{তড়িৎআধান}}{\text{দূরত্ব}}$$

একাধিক বিন্দু-আধানের প্রভাবে কোন বিন্দুতে বিভব : বিভব একটি স্কেলার চরকত্ব-7

রাশি। সুতরাং, একাধিক তড়িদাধানের জন্য কোন বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করিতে হইলে প্রতিটি আধানের জন্য পৃথকভাবে বিভব নির্ণয় করিয়া উহাদের বীজগাণিতিক সমষ্টি নির্ণয় করিতে হইবে। কোন বিন্দু হইতে  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$  দূরত্বে যথাক্রমে  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$  বিন্দু-আধান অবস্থিত থাকিলে ঐ বিন্দুতে বিভব

$$\phi = \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \dots + \frac{q_n}{r_n} = \frac{\Sigma q}{r} \quad \dots (2.11)$$

## 2.11 ভূমি-সংলগ্ন পরিবাহীর তড়িৎ-বিভব শূন্য

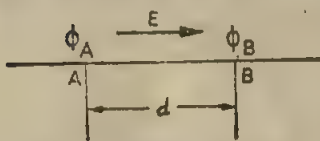
পৃথিবী একটি বিরাট পরিবাহী। ইহার আকার অতি বৃহৎ বলিয়া কিছু পরিমাণ তড়িদাধান লেন-দেন করিলে ইহার বিভবের কোনরূপ তারতম্য হয় না। এ প্রসঙ্গে সমুদ্র-জলের লেভেলের সহিত পৃথিবীর বিভবের তুলনা করা যায়। সমুদ্র হইতে কিছু পরিমাণ জল তুলিয়া লইলে বা সমুদ্রে কিছু পরিমাণ জল ঢালিলে সমুদ্রতল (sea-level)-এর কোনরূপ তারতম্য হয় না। এইজন্য উচ্চতা-পরিমাপের ক্ষেত্রে সমুদ্র-তলের উচ্চতাকে শূন্য ধরিয়া উহার সাপেক্ষে অন্যান্য স্থানের উচ্চতা পরিমাপ করি। অনুরূপ কারণে কোন বস্তুর তড়িৎ-বিভব পরিমাপের ক্ষেত্রে পৃথিবীর বিভবকে শূন্য ধরিয়া লওয়া হয়। কোন পরিবাহীকে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করিলে সাম্যাবস্থায় উহার বিভবও পৃথিবীর বিভবের সমান হয়। কাজেই, ভূমি-সংলগ্ন পরিবাহীর বিভবও শূন্য।

## 2.12 প্রাবল্য ও বিভবের পারস্পরিক সম্পর্ক

(Relation between intensity and potential)

মনে করি, কোন তড়িৎ-ক্ষেত্রে A এবং B দুইটি নিকটবর্তী বিন্দু (চিত্র 2.13)। ইহাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব  $d$ । যদি  $d$  খুব ক্ষুদ্র হয় তাহা হইলে ধরা যায় যে, এই দূরত্বের মধ্যে সর্বত্র তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান সমান।

মনে করি, A এবং B বিন্দুর বিভব যথাক্রমে  $\phi_A$  এবং  $\phi_B$  এবং  $\phi_A > \phi_B$ ।



চিত্র 2.13

কাজেই প্রাবল্যের অভিমুখ A হইতে B-এর দিকে, কেননা ধনাত্মক তড়িৎ সর্বদা উচ্চতর বিভবসম্পন্ন অঞ্চল হইতে নিম্নতর বিভবসম্পন্ন অঞ্চলের দিকে ষাইতে চায়। ইহার তাৎপর্ষ এই যে, প্রাবল্যের অভিমুখ সর্বদাই

উচ্চতর বিভবসম্পন্ন অঞ্চল হইতে নিম্নতর বিভবসম্পন্ন অঞ্চলের দিকে।

মনে করি, A হইতে B অভিমুখে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান = E

এখন, বিভব-বৈষম্যের সংজ্ঞা হইতে আমরা পাই যে, একক পরিমাণ ধনাত্মক তড়িদাধানকে B-বিন্দু হইতে A-বিন্দুতে আনিতে কৃত কার্য,

$$W = \phi_A - \phi_B \quad \dots (i)$$

আবার কার্যের সংজ্ঞা হইতে লেখা যায় যে একই পরিমাণ আধানকে B-হইতে A-বিন্দুতে আনিতে কৃত কার্য, W

$$= \text{একক আধানের উপর ক্রিয়াশীল বল} \times \text{অতিক্রান্ত দূরত্ব}$$

$$= E \cdot d$$

$$\dots (ii)$$

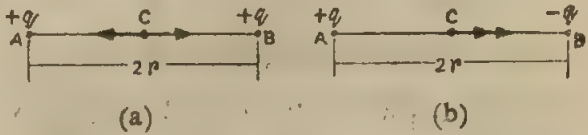
∴ (i) ও (ii) হইতে লেখা যায়,

$$\phi_A - \phi_B = E \cdot d \quad \text{বা,} \quad E = \frac{\phi_A - \phi_B}{d} \quad \dots (2.12)$$

ইহাই A হইতে B-বিন্দু অভিমুখে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান।

● কোন স্থির তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য শূন্য হইলে ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবও শূন্য হইবে কি?

তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে প্রাবল্যের মান ঐ স্থানে তড়িৎ-বিভবের নতিমাত্রার সমান (ঋণাত্মক চিহ্নসহ)। কোন তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে বিভবের নতিমাত্রা শূন্য হইলে ঐ বিন্দুতে বিভবের মানও শূন্য হইবে এইরূপ কোন কথা নাই। অর্থাৎ



কোন বিন্দুতে তড়িৎ-

চিত্র 2.14

ক্ষেত্রের প্রাবল্য শূন্য হইলেও ঐ স্থানের তড়িৎ-বিভবের মান শূন্য না-ও হইতে পারে। একটি উদাহরণ দেওয়া যাক। A এবং B বিন্দুতে  $+q$  পরিমাণ আধান রাখা হইল [চিত্র 2.14 (a)]। ইহাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব  $= 2r$  (ধরি)।

স্পষ্টতই, AB সরলরেখার মধ্যবিন্দু C-তে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান শূন্য, কেননা, A বিন্দুতে অবস্থিত  $+q$  আধানের দ্বারা C বিন্দুতে প্রাবল্য এবং B বিন্দুতে অবস্থিত  $+q$  আধানের দ্বারা C বিন্দুতে প্রাবল্য পরস্পর সমান এবং বিপরীতমুখী।

$$\text{কিন্তু C বিন্দুতে তড়িৎ-বিভব, } \phi_c = \frac{q}{r} + \frac{q}{r} = \frac{2q}{r}$$

কাজেই, C বিন্দুতে প্রাবল্য শূন্য হইলেও বিভব শূন্য নয়।

আবার, কোন বিন্দুতে বিভব শূন্য হইলেও বিভব প্রাবল্যের মান অশূন্য (non-zero) হইতে পারে।

নিম্নে একটি উদাহরণ দেওয়া হইল।

মনে করি, A এবং B বিন্দুতে যথাক্রমে  $+q$  এবং  $-q$  আধান রাখা হইয়াছে [চিত্র 2.14(b)]। ইহাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব  $= 2r$

এখন AB সরলরেখার মধ্যবিন্দু C-তে তড়িৎ-ক্ষেত্রের বিভব,

$$\phi_c = \frac{q}{r} - \frac{q}{r} = 0$$

কিন্তু C বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান শূন্য নয়। A বিন্দুতে অবস্থিত  $+q$  আধানের দ্বারা তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য এবং B বিন্দুতে অবস্থিত  $-q$  আধানের দ্বারা তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য একই অভিমুখে ক্রিয়াশীল। কাজেই, C বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য

$$E_c = \frac{q}{r^2} + \frac{q}{r^2} = \frac{2q}{r^2}$$

এই প্রাবল্য C হইতে B অভিমুখে ক্রিয়াশীল।



• সমাধানসমূহ: পার্বত্যিক প্রকল্পাবলী •

**উদাহরণ 2.7** 2 cm দূরত্বে অবস্থিত দুইটি সমান্তরাল পরিবাহী প্লেটের মধ্যে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান  $1.5 \text{ e. s. u./cm}$ । ভোল্ট এককে প্লেট দুইটির মধ্যে বিভব-পার্থক্য নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

**সমাধান :** দুই পাতের মধ্যবর্তী স্থানে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য,  $E = 1.5 \text{ e.s.u./cm}$   
 $= 1.5 \times 300 \text{ volt/cm} = 450 \text{ volt/cm}$  ... (i)

যদি, প্লেটের দুই পাতের বিভব-বৈষম্য  $= V \text{ volt}$

পাতদ্বয়ের দূরত্ব 2 cm বলিয়া পাত দুইটির মধ্যবর্তী স্থানের তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য

$$E = \frac{V \text{ volt}}{2 \text{ cm}} = \frac{V}{2} \text{ volt/cm} \dots (ii)$$

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে লেখা যায়,  $\frac{V}{2} = 450$  বা,  $V = 900$

কাজেই, প্লেট দুইটির বিভব-বৈষম্য  $= 900 \text{ volt}$

**উদাহরণ 2.8** দুইটি পরিবাহী প্লেট 2 cm দূরে পরস্পর সমান্তরালভাবে বসান রহিয়াছে। একটি প্লেটকে কোন তড়িৎ-যন্ত্রের 1500 ভোল্ট বিভববিশিষ্ট তড়িদ্বারের সহিত এবং অপর প্লেটটিকে পৃথিবীর সহিত যুক্ত করিলে প্লেট দুইটির মধ্যবর্তী স্থানে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান কত?

**সমাধান :** প্রথম প্লেটটির তড়িৎ-বিভব,  $V_1 = 1500 \text{ volt}$   
 $= \frac{1500}{300} \text{ e. s. u.} = 5 \text{ e. s. u.}$

আমরা জানি যে, যে কোন পৃথিবীযুক্ত পরিবাহীর বিভব শূন্য। [ইহার কারণ এই যে; পৃথিবী আকারে বৃহৎ বলিয়া ইহার ধারকত্ব (capacity) কার্যত অসীম।]

কাজেই, দ্বিতীয় প্লেটের বিভব,  $V_2 = 0$

$$\therefore \text{তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য, } E = \frac{V_1 - V_2}{d}$$

এখানে,  $d =$  দুই প্লেটের দূরত্ব  $= 2 \text{ cm}$

$$\therefore E = \frac{5 - 0}{1} = 5 \text{ e. s. u.}$$

**উদাহরণ 2.9** কোন বিন্দু হইতে 5 cm, 7 cm এবং 10 cm দূরে যথাক্রমে  $+1500 \text{ e.s.u.}$ ,  $+3500 \text{ e.s.u.}$  এবং  $-2000 \text{ e.s.u.}$  তড়িদাধান রাখা আছে। ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের মান কত ভোল্ট?

**সমাধান :** আমরা জানি যে, তড়িৎ-বিভব,

$$= \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} = \frac{1500}{5} + \frac{3500}{7} - \frac{2000}{10} \text{ e.s.u.}$$

$$= 600 \text{ e.s.u.} = 600 \times 300 \text{ volt} = 180000 \text{ volt}$$

**উদাহরণ 2.10** একটি বিন্দুতে 100 e.s.u. তড়িদাধান স্থাপন করা হইল। (i) একটি একক ধনাত্মক তড়িদাধানকে অসীম দূরত্ব হইতে ঐ বিন্দুর 20 cm দূরত্বে আনিতে, এবং (ii) একটি একক ধনাত্মক তড়িদাধানকে 10 cm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট পূর্ণ বৃত্তপথে ঘুরাইয়া আনিতে কী পরিমাণ কার্য করিতে হইবে? যুক্তিসহ উত্তর দাও। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, '79]

সমাধান : (i)  $q$  পরিমাণ আধান হইতে  $r$  দূরত্বে অবস্থিত কোন বিন্দুর তড়িৎ-বিভব  $\phi$ -এর মান নিম্নের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়—

$$\phi = \frac{q}{r} \quad (i)$$

তড়িৎ-বিভবের সংজ্ঞানুসারে, একটি একক ধনাত্মক তড়িদাধানকে অসীম দূরত্বে হইতে  $q$  বিন্দু-আধানের  $r$  দূরত্বে আনিতে কৃত কার্যের পরিমাণ  $\phi$ -এর সমান।

সুতরাং, 1 e. s. u. ধনাত্মক আধানকে অসীম দূরত্বে হইতে 100 e. s. u. ধনাত্মক আধানের 20 cm দূরত্বে আনিতে কৃত কার্যের পরিমাণ

$$W = \phi = \frac{q}{r} = \frac{100}{20} = 5 \text{ erg}$$

(ii) কোন তড়িৎ-ক্ষেত্রে একটি একক ধনাত্মক তড়িদাধানকে এক বিন্দু হইতে অপর বিন্দুতে আনিতে যে-পরিমাণ কার্য করিতে হয় তাহা উক্ত দুই বিন্দুর বিভব-বৈষম্যের সমান। অর্থাৎ, কোন তড়িৎ-ক্ষেত্রে A বিন্দু হইতে একটি ধনাত্মক একক তড়িদাধানকে B বিন্দুতে আনিতে কৃত কার্যের পরিমাণ,

$$W = (\phi_B - \phi_A)$$

এখানে,  $\phi_A$  এবং  $\phi_B$  যথাক্রমে A এবং B বিন্দুর তড়িৎ-বিভব। স্থির তড়িৎ-ক্ষেত্রের ধ্যানুসারে, একটি একক আধানকে যে-পথেই A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে আনা হউক না কেন কৃত কার্যের পরিমাণ সর্বদাই  $(\phi_B - \phi_A)$ -এর সমান হইবে। অর্থাৎ, কোন স্থির তড়িৎ-ক্ষেত্রে একটি ধনাত্মক তড়িদাধানকে এক বিন্দু হইতে অপর বিন্দুতে আনিতে যে-পরিমাণ কার্য করিতে হয় তাহা আধানের প্রাথমিক ও অন্তিম অবস্থানের বিভব-বৈষম্যের সমান। কাজেই, কোন তড়িদাধান যদি একটি বক্র বস্তুপথে চলিয়া পুনরায় প্রাথমিক বিন্দুতেই চলিয়া আসে তাহা হইলে কৃত কার্যের পরিমাণ শূন্য হইবে।

স্মরণ্যতই, একটি একক আধানকে 10 cm ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট বৃত্তপথ বরাবর ঘুরাইয়া একই বিন্দুতে ফিরাইয়া লইয়া আসিলে এক্ষেত্রে কৃত কার্যের পরিমাণ শূন্য হইবে।

● উল্লেখ করা যায় যে, বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ বাহাই হউক না কেন, আধানটিকে একই বিন্দুতে লইয়া আসিলে কৃত কার্যের পরিমাণ সর্বদাই শূন্য হইবে।

উদাহরণ 2.11 500 e.s.u. পরিমাণ তড়িদাধান হইতে P এবং Q-বিন্দুর দূরত্ব যথাক্রমে 10 cm এবং 20 cm। 2 e. s. u. পরিমাণ আধানকে Q-বিন্দু হইতে P-বিন্দুতে আনিতে কী পরিমাণ কার্য করিতে হইবে ?

সমাধান : 500 e. s. u. তড়িদাধানের প্রভাবে P-বিন্দুর তড়িৎ-বিভব,

$$\phi_P = \frac{500}{10} = 50 \text{ e.s.u.}$$

অনুরূপভাবে, Q-বিন্দুর তড়িৎ-বিভব,  $\phi_Q = \frac{500}{20} = 25 \text{ e.s.u.}$

2 e.s.u. পরিমাণ আধানকে P হইতে Q-বিন্দুতে আনিতে কৃত কার্য

= বিভব-প্রভেদ  $\times$  তড়িদাধান

$$= (\phi_P - \phi_Q) \times 2 \text{ erg} = (50 - 25) \times 2 \text{ erg} = 50 \text{ erg}$$

উদাহরণ 2.12 ABCD একটি বর্গক্ষেত্র। ইহার প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য 20 cm। A, B এবং C-বিন্দুতে যথাক্রমে 6, 12 এবং 24 e.s.u. মানের ধনাত্মক তড়িদাধান রাখা

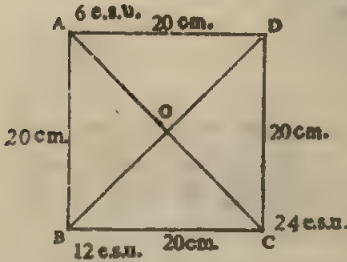
হইল। একটি একক ধনাত্মক তড়িৎস্রোতকে D হইতে সরাসরি বর্গক্ষেত্রের মধ্যবিন্দুতে আনিতে কী পরিমাণ কার্য করিতে হইবে? [জরেন্ট এন্টোপল, 1978]

সমাধান : চিত্রানুসারে,  $BD^2 = AB^2 + AD^2 = 20^2 + 20^2$

$$\text{বা, } BD = 20\sqrt{2} \text{ cm}$$

O-বিন্দুটি বর্গক্ষেত্রের মধ্যবিন্দু। কাজেই,  $BO = OD = \frac{1}{2} BD = 10\sqrt{2} \text{ cm}$

অনুরূপভাবে,  $AO = CO = 10\sqrt{2} \text{ cm}$



চিত্র 2.15

D-বিন্দুর তড়িৎ-বিভব,

$$\phi_D = \frac{6}{AD} + \frac{12}{BD} + \frac{24}{CD}$$

$$= \frac{6}{20} + \frac{12}{20\sqrt{2}} + \frac{24}{20} = 1.924 \text{ e.s.u.}$$

O-বিন্দুর তড়িৎ-বিভব,

$$\phi_O = \frac{6}{OA} + \frac{12}{BO} + \frac{24}{CO}$$

$$= \frac{6}{10\sqrt{2}} + \frac{12}{10\sqrt{2}} + \frac{24}{10\sqrt{2}}$$

$$= 2.969 \text{ e.s.u.}$$

একক ধনাত্মক আধানকে D হইতে O-বিন্দুতে আনিতে কৃত কার্য

$$= \phi_O - \phi_D = 2.969 - 1.924 = 1.045 \text{ erg}$$

## 2.13 সমবিভব তল (Equipotential Surface)

যে-সকল তলের সকল বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের মান সমান তাহাকে সমাবিভব-তল বলা হয়। কোন আধানকে সমাবিভব-তলের এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে লইয়া গেলে কোনরূপ কার্য হয় না, কেননা সমাবিভব-তলের দুই বিন্দুতে কোন বিভব-বৈষম্য নাই। ইহা হইতে সহজেই প্রমাণ করা যায় যে, তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে প্রাবল্য ঐ স্থানের মধ্য দিয়া অঙ্কিত সমাবিভব-তলের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

মনে করি, P-এবং Q দুইটি নিকটবর্তী বিন্দু (চিত্র 2.16)। ইহাদের তড়িৎ-বিভব



চিত্র 2.16

যথাক্রমে  $\phi_P$  এবং  $\phi_Q$ । ধরা যাক, PQ-রেখার সাহিত তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য যে-কোন উৎপন্ন করিয়াছে তাহার মান  $= E$ । একক ধনাত্মক তড়িৎস্রোতকে Q-বিন্দু হইতে P-বিন্দুতে আনিতে কৃত কার্য,

$$W = E \cos \theta \times PQ \quad \dots (i)$$

আবার, বিভব-বৈষম্যের সংজ্ঞানুসারে একক ধনাত্মক তড়িৎস্রোতকে Q হইতে P-বিন্দুতে আনিতে কৃত কার্য,  $W = \phi_P - \phi_Q \quad \dots (ii)$

সুতরাং, (i) ও (ii) হইতে লেখা যায়,

$$\phi_P - \phi_Q = E \cos \theta \times PQ \quad \dots (iii)$$

এখন মনে করি যে,  $P$  এবং  $Q$ -বিন্দুদ্বয় উভয়েই একটি সমাবিভব-তল  $S$ -এর উপর বিদ্যমান। কাজেই,  $\phi_p$  এবং  $\phi_q$ -এর মান সমান হইবে।

সুতরাং, সমীকরণ (iii) হইতে পাই,

$$E \cos \theta \times PQ = 0$$

কিন্তু,  $E \neq 0$ ,  $PQ \neq 0$ , সুতরাং  $\cos \theta = 0$ , বা,  $\theta = \frac{\pi}{2}$

ইহার তাৎপৰ্য এই যে, তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য  $E$  সর্বদা সমাবিভব-তল  $S$ -এর সাহিত লম্বভাবে অবস্থান করিবে। তড়িৎদাহিত একটি গোলায় বস্তুর চতুর্দিকে সমাবিভব-তলগুলি গোলায় (spherical) এবং প্রাবল্যের অভিমুখ বা বলরেখার অভিমুখ অরীয় (radial)।

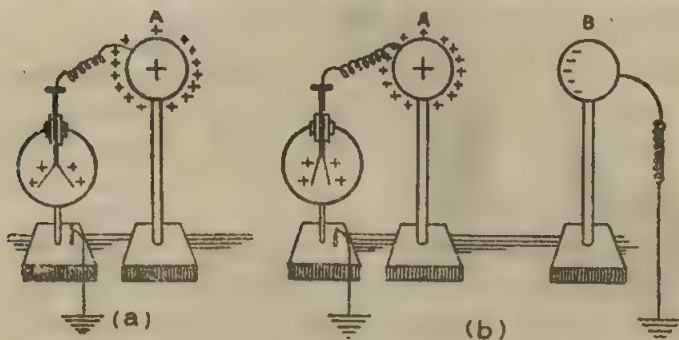
## 2.14 পৰিবাহীৰ বিভিন্ন

কোন তড়িৎ-ক্ষেত্রে কোন পরিবাহী অবস্থিত থাকিলে উহা একটি নির্দিষ্ট বিভব লাভ করে। অসীম দূরত্বে একক আধানকে পরিবাহী পৰ্যন্ত আনিতে যে-পরিমাণ কার্য করিতে হয় তাহাই ঐ পরিবাহীর বিভবের মান। কোন পরিবাহী তড়িৎদাহিত হইলে নিজস্ব আধানের জন্য উহা একটি বিভব লাভ করে। বাহ্যিক আধানের ক্রিয়া হইতে মুক্ত তড়িৎ-গ্রস্ত পরিবাহীর বিভব ইহার নিজস্ব আধানের পরিমাণের উপর নির্ভর করে। আধান বাড়িলে পরিবাহীর বিভব সমানুপাতে বৃদ্ধি পায়। আধান ধনাত্মক হইলে বিভবও ধনাত্মক হয়; অপরপক্ষে আধান ঋণাত্মক হইলে উহার বিভবও ঋণাত্মক হয়। নিজস্ব আধানের পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকিলেও অন্যান্য তড়িৎদাহিত বা অনাহিত পরিবাহীর সান্নিধ্যে কোন পরিবাহীর বিভবের পরিবর্তন হইতে পারে। পরীক্ষার সাহায্যে ইহা সহজেই প্রমাণ করা যায়। এখানে একটি কথা স্মরণ রাখা প্রয়োজন। যে-তড়িৎ-ক্ষেত্রে সমস্ত আধান স্থির অবস্থায় আছে সেখানে কোন পরিবাহী থাকিলে ঐ পরিবাহীর সকল অংশের বিভব সমান হয়। পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ চলাচল করিতে পারে এই কথা মনে রাখিলে বুঝা যায় যে, পরিবাহীর বিভব সর্বত্র সমান হওয়াই স্বাভাবিক। কোন পরিবাহীর বিভিন্ন অংশে বিভবের পার্থক্য থাকিলে উহার এক অংশ হইতে অপর অংশে আধান চলাচল করিতে থাকিবে এবং যতক্ষণ পর্যন্ত উহার সকল অংশের বিভব সমান না হইবে ততক্ষণ আধানের এইরূপ চলাচল অব্যাহত থাকিবে। সুতরাং, স্থির তড়িৎের ক্ষেত্রে কোন পরিবাহীর বিভব সর্বত্র সমান এইরূপ ধরিয়া লওয়া যায়।

(i) তড়িৎবাহী পরিবাহীর সান্নিধ্যে আহিত পরিবাহীর বিভবের পরিবর্তন : কোন তড়িৎদাহিত পরিবাহীর নিকট অন্য কোন অন্তরিত বা ভূমি-সংলগ্ন অনাহিত পরিবাহী রাখিলে আহিত পরিবাহীর বিভব কমিয়া যায়। মনে করি,  $A$  এবং  $B$  দুইটি অন্তরিত পরিবাহী।  $A$ -কে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের সহিত যুক্ত করিয়া উহাকে ধন-তড়িতে আহিত করা হইল [চিত্র 2.17 (a)]। আধানের পরিমাণ অনুসারে বীক্ষণযন্ত্রের পত্রদ্বয়ের বিস্তারণ হইবে। এইবার অনাহিত পরিবাহী  $B$ -কে  $A$ -পরিবাহীর কাছ আনিলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্তারণ কমিয়া সাইবে। বীক্ষণযন্ত্রের পত্রদ্বয়ের বিস্তারণ প্রকৃতপক্ষে উহাদের বিভবের উপর নির্ভর করে। স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের সহিত  $A$ -পরিবাহী সংযুক্ত থাকা অবস্থায় কোন কারণে পত্রদ্বয়ের বিস্তারণ কমিলে বুঝিতে হইবে



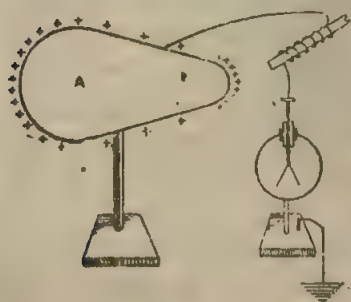
যে, A-পরিবাহীর বিভব কমিয়াছে। অনাহিত পরিবাহী B-কে পরিবাহী A-এর নিকট আনায় উহার বিভব কমিল কেন? B-পরিবাহীতে আবেশের ফলে যে-তড়িদাধান আবিষ্ট হয় উহাদের ক্ষিয়ারই A-পরিবাহীর বিভব কমিয়া যায়। A-এর বিভব ধনাত্মক। সুতরাং, B-পরিবাহীর যে-প্রান্ত A-এর নিকটের সেই প্রান্তে ঋণাত্মক আধান



চিত্র 2.17

আবিষ্ট হয়। ইহার দূরবর্তী প্রান্তে ধনাত্মক তড়িদাধান আবিষ্ট হয়। নিকটবর্তী প্রান্তের ঋণ-তড়িৎ A-পরিবাহীর বিভব যতটা কমাইয়া দেয় দূরবর্তী প্রান্তের ধন-তড়িৎ উহার বিভব ততটা বাড়াইতে পারে না; ফলে A-পরিবাহীর বিভব হ্রাস পায়। B-পরিবাহীকে ভূমি-সংলগ্ন করিলে [চিত্র 2.17(b)] ধনাত্মক মুক্ত আধান মাটিতে চাঁলিয়া যায়, ফলে A-পরিবাহীর বিভব আরও কমিয়া যায়। ইহাতে পদার্থের বিস্তারণ আরও হ্রাস পায়।

(ii) আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সম-বিভবসংগম্য: কোন আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠের সর্বত্র বিভব সমান নিম্নের পরীক্ষার দ্বারা ইহা প্রমাণ করা যায়।



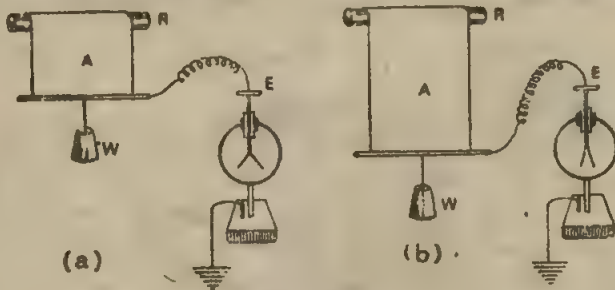
চিত্র 2.18

রাহিয়াছে (চিত্র 2.18)। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, A-পরিবাহীর পৃষ্ঠের বিভব সর্বত্র সমান। ইতিপূর্বে আমরা জানিয়াছি যে, অসম আকৃতির পরিবাহী-পৃষ্ঠের সর্বত্র আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান নয়। আধানের পরিমাণ যাহাই হউক না কেন পরিবাহী পৃষ্ঠের বিভব সর্বত্র সমান। আবেশের সাহায্যে কোন পরিবাহীর একপ্রান্তে ধনাত্মক ও অপর প্রান্তে ঋণাত্মক আধান আবিষ্ট করিয়াও অনুরূপ পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যাইবে যে, পরিবাহী পৃষ্ঠের বিভব সর্বত্র সমান, যদিও বিভিন্ন অংশের আধানের মান ঐং প্রকৃতি আলাদা।

অসম-আকৃতির কোন অন্তরিত পরিবাহীকে কোন তড়িৎ-বস্তুর সাহায্যে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানে আহিত করা হইল। একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের চাকৃতির সাহিত একটি সরু পরিবাহী তারের একপ্রান্তে যুক্ত করিয়া উহাকে একটি অন্তরিত পদার্থের দণ্ডে জড়াইয়া ঐ দণ্ডের সাহায্যে তারটির অপর প্রান্তকে অন্তরিত আহিত পরিবাহীর (A) বিভিন্ন স্থানে স্পর্শ করাইলে দেখা

যাইবে যে, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্তারণ সর্বদা সমান

(iii) পরিবাহীর আকারের পরিবর্তনের ফলে উহার বিভবের পরিবর্তন :  
বিভিন্ন পরিবাহীকে একই পরিমাণ আধান দ্বারা আহিত করিলে উহাদের বিভব



চিত্র 2.19

সমান হয় না। একই জ্যামিতিক আকৃতির বিভিন্ন পরিবাহীর আকার (size) বিভিন্ন হইলে একই পরিমাণ আধানে আহিত হইয়াও উহাদের বিভব বিভিন্ন হয়। পরিবাহীর পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বাড়িলে উহার বিভব কমিয়া যায়।

2.19 চিত্রে R একটি ক্যাপাসিটর দণ্ড এবং A একটি পাতলা টিনের পাত। R দণ্ডে গুটাইয়া টিনের পাতটির দৈর্ঘ্য কমান যায়। পাতের নিচে একটি ভার W ঝুলান আছে, যাহাতে পাতটি টান-টান অবস্থায় থাকে। একটি সরু তারের সাহায্যে পাতটিকে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-খীক্ষণ যন্ত্রের চাকতির সহিত যুক্ত করা হইল। পাতটি অন্তরিত রাখিয়া উহাতে কিছু পরিমাণ তড়িৎ আধান দিলে স্বর্ণপত্রের বিস্তারিত হইবে। আধানের পরিমাণ স্থির রাখিয়া পাত গুটাইয়া উহার ক্ষেত্রফল কমাইলে পত্রের বিস্তারণ বাড়িবে। অনুপভাবে, পাতের গুটানো অংশ খুলিয়া দিয়া উহার ক্ষেত্রফল বাড়াইলে পত্রের বিস্তারণ কমিবে। ইহা হইতে বুঝা যাইতেছে যে, পরিবাহীর বিভব উহার পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে।

### তড়িৎ-খীক্ষণ

দুইটি বিন্দু-আধানের পারস্পরিক বল (F) উহাদের আধানের পরিমাণের গুণফলের সমানুপাতিক এবং উহাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। ইহাকে কুলম্বের ব্যস্তানুপাত বর্ণনা করা হয়।

$$\text{গণিতের ভাষায় লেখা যায়, } F = \frac{1}{k} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

এখানে k একটি ধ্রুবক। ইহাকে মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা বলা হয়।

$$\text{কোন মাধ্যমের তড়িৎ-মাধ্যমাক্ষ, } \epsilon = \frac{\text{আলোচ্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা}}{\text{শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা}}$$

একক আধান বলিতে সেই পরিমাণ আধান বুঝায় যাহা সমপরিমাণ এবং সমধর্মী আধান হইয়া স্থানে (কিংবা বায়ুতে) 1 cm দূরে থাকিয়া পরস্পরের প্রতি 1 dyn বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে। আধানের এই একককে স্থির বৈদ্যুতিক একক (electrostatic

unit) বা স্ট্যাটকুলম্ব (statcoulomb) বলা হয়। ইহাকে সংক্ষেপে 1 e.s. u. আধান বলা হয়।

একটি বিন্দু-আধান  $q$  হইতে  $r$  দূরত্বে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান

$$F = \frac{q}{cr^2}$$

তড়িৎ-বলরেখার উল্লেখযোগ্য ধর্মগুলি নিম্নরূপ :

(i) তড়িৎ-বলরেখা ধনাত্মক আধান হইতে শুরু হয় এবং ঋণাত্মক আধানে গিয়া শেষ হয়। (ii) দুইটি বলরেখা পরস্পর ছেদ করে না। (iii) ইহারা টানা-দেওয়া স্থিতিস্থাপক সূতার ন্যায় আচরণ করে। (iv) বলরেখাগুলি পার্শ্বদিকে পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। (v) পরিবাহীর পৃষ্ঠের সহিত বলরেখা লম্বভাবে থাকে।

কোন বিন্দু হইতে অপর কোন বিন্দুতে একক পরিমাণ ধনাত্মক আধান লইয়া গেলে ঐ আধানের উপর ক্রিয়াশীল তড়িৎ-বলের বিরুদ্ধে যে-পরিমাণ কার্য হয় তাহাই ঐ দুই বিন্দুর বিভব-বৈকল্য।

অসীম দূরত্ব হইতে একক পরিমাণ ধনাত্মক আধানকে তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে লইয়া আসিতে যে-পরিমাণ কার্য করিতে হয় তাহাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ-বিভব বলা হয়। অসীম দূরত্ব হইতে 1 e. s. u. পরিমাণ ধনাত্মক আধানকে কোন বিন্দুতে আনিতে যদি 1 erg কার্য সম্পাদিত হয় তাহা হইলে ঐ বিন্দুর বিভবকে এক স্থির-তড়িৎ একক (electrostatic unit) বিভব বলা হয়। 1 e. s. u. বিভবকে স্ট্যাটভোল্ট (statvolt)-ও বলা হয়।

অসীম দূরত্ব হইতে 1 e. m. u. আধানকে কোন বিন্দুতে আনিতে যদি 1 erg কার্য করিতে হয় তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে এক তড়িৎ-চুম্বকীয় একক (1 e. m. u.) বিভব বলা হয়।

$$1 \text{ e.m.u. (বিভব)} = \frac{1}{3 \times 10^{10}} \text{ e.s.u. (বিভব)}$$

$$1 \text{ e.s.u. (বিভব)} = 300 \text{ V}$$

$q$ -বিন্দু আধান হইতে  $r$  দূরত্বে (শূন্যস্থানে বা বায়ুতে) অবস্থিত কোন বিন্দুতে বৈদ্যুতিক বিভব,

$$\phi = \frac{\text{তড়িৎআধান}}{\text{দূরত্ব}} = \frac{q}{r}$$

কোন বিন্দু হইতে  $r_1, r_2, \dots, r_n$  দূরত্বে  $q_1, q_2, \dots, q_n$  পরিমাণ বিন্দু-আধান থাকিলে ঐ বিন্দুর বিভব

$$\phi = \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \dots + \frac{q_n}{r_n} = \sum \frac{q}{r}$$

A এবং B বিন্দুর বিভব যথাক্রমে  $\phi_A$  এবং  $\phi_B$  হইলে A হইতে B বিন্দুর দিকে প্রাবল্যের উপাংশের মান

$$E = \frac{\phi_A - \phi_B}{d}$$

এখানে  $d$  হইল A বিন্দু হইতে B বিন্দুর দূরত্ব।

## প্রশ্নাবলী 2

### দুয়োত্তর প্রশ্নাবলী

1. একটি তড়িৎ-ক্ষেত্রে দুইটি বলরেখা ছেদ করে কি? দুইটি সমাবিভব-রেখা পরস্পরকে ছেদ করিতে পারে কি?  
(সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1979)
2.  $q_1$  এবং  $q_2$  যানের দুইটি তড়িৎআধান পরস্পর হইতে  $d$  দূরত্বে বিদ্যমান। ইহাদের তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতেই তীব্রতার মান শূন্য নয়। এই তথ্য হইতে তুমি কী সিদ্ধান্তে আসিতে পার?  
[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1982]
3.  $+q$  এবং  $-q$  যানের দুইটি তড়িৎআধানকে  $d$  দূরত্বে স্থাপন করা হইল। কোন বিন্দুগুলিতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের লব্ধি প্রাবল্য আধান দুইটির সংযোজী সরলরেখার সমান্তরাল হয়?  
[আই. আই. টি. অ্যাজমিশন টেস্ট, 1978]
4. কোন অঞ্চলে তড়িৎ-বিভব ধ্রুবক হইলে ঐ স্থানে তড়িৎ-ক্ষেত্রের তীব্রতা সম্পর্কে কী সিদ্ধান্তে আসিতে পার?
5. কোন স্থানে তড়িৎ-ক্ষেত্রের তীব্রতা জানা থাকিলেই কি ঐ স্থানের বিভবের মান জানা যায়? যদি তাহা না হয় তবে অতিরিক্ত কোন তথ্য জানিলে বিভবের মান পাইবে?  
হুইটলহ উত্তর দাও।
6. বৈদ্যুতিক বলরেখাগুলি পরস্পরকে ছেদ করে না কেন ব্যাখ্যা কর।  
[আই. আই. টি. অ্যাজমিশন টেস্ট, 1972]
7. তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য শূন্য হইলে কি ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-বিভব থাকিতে পারে? কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য শূন্য না হইলে কি ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের মান শূন্য হইতে পারে? ব্যাখ্যা কর।
8. 'পৃথিবীতে পরিবাহীর তড়িৎ-বিভব শূন্য।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

9. দুইটি আধানের মধ্যে ত্রিমাত্রিক বল-সংক্রান্ত সূত্রটি বিবৃত কর এবং ইহার সাহায্যে একক আধান ও তড়িৎ-মাধ্যমাত্মক সংজ্ঞা দাও। তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলিতে কী বুঝ?  
[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]
10. (a) স্থির বৈদ্যুতিক বল-সংক্রান্ত সূত্রটি বিবৃত কর এবং ইহা হইতে 'স্ট্যাটিকুলার' এককের সংজ্ঞা দাও। দুইটি তড়িৎআধানের পারস্পরিক বলের উপর মাধ্যমের প্রভাব কী?  
(b) যখন আধান বেশি থাকে তখন স্থির তড়িৎ-সংক্রান্ত পরীক্ষা করা সুবিধাজনক নয় কেন ব্যাখ্যা কর।  
[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]
11. (a) তড়িৎ-বিভব বলিতে কী বুঝ? ইহা কীরূপে মাপা হয়? ভোল্টের সংজ্ঞা লিখ। (b) একটি সমবাহু ত্রিভুজের শীর্ষবিন্দুতে সমান ধনাত্মক আধান অবস্থিত। প্রত্যেক শীর্ষবিন্দু হইতে সমান দূরত্বে অবস্থিত বিন্দুটিতে প্রাবল্য কত?  
[শূন্য]
- (c) একটি তড়িৎ-ক্ষেত্রে দুইটি বলরেখা ছেদ করে কি? দুইটি সমাবিভব রেখা ছেদ করে কি?  
(সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1979)
12. স্থির তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য কাহাকে বলে? একক বিন্দু আধান হইতে  $r$ -দূরত্বে অবস্থিত কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান কত?



13. (a) তড়িৎ-বিভব বলিতে কী বুঝ? বিভবের সি. ভি. এস. স্থির-তড়িৎ একক এবং ব্যবহারিক একক কী? (b) একটি বিন্দু-আধানের তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে বিভবের মান নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপদ্য), 1982] (c) বিভব-বৈকল্য ও তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সম্পর্ক কী?

14. তড়িৎ-বিভব কী? বিভবের স্থির তড়িৎ একক ও ব্যবহারিক একক কী এবং ইহাদের মধ্যে সম্পর্ক কী? তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সংজ্ঞা দাও। তড়িৎ-বিভবের সহিত ইহার সম্পর্ক কী? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980; (ত্রিপদ্য), 1981]

15. (a) তড়িৎ-ক্ষেত্রে কুলম্বের বায়ানুপাত সূত্রটি লিখ। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982; (ত্রিপদ্য), 1980] ইহা হইতে আধানের স্থির-তড়িৎ এককের সংজ্ঞা দাও।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

(b) তড়িৎ-বলরেখা কাহাকে বলে? ইহাদের ধর্মাবলী সংক্ষেপে আলোচনা কর।

16. তড়িৎ-বিভব কাহাকে বলে? পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর যে, কোন তড়িৎ-বিহীন পরিবাহীর সামিধ্যে কোন তড়িৎদাহিত বস্তুর বিভব কামরা যায়।

17. সমবিভব তল কাহাকে বলে? প্রমাণ কর যে, কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য ঐ বিন্দুর মধ্য দিয়া অতিকৃত সমবিভব-তলের সহিত লম্বভাবে অবস্থান করে।

18. পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর যে, কোন আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভবসম্পন্ন। আধানের পরিমাণ-স্থির থাকিলে কোন পরিবাহীর পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রবল বাড়াইলে উহার বিভব কমিয়া যায় পরীক্ষার সাহায্যে তাহা কীরূপে দেখান যায়?

### গাণিতিক প্রয়োগসমী

19. একটি 20 e. s. u. ধনাত্মক তড়িদাধান হইতে 30 cm দূরে অপর একটি 30 e. s. u. ঋণাত্মক তড়িদাধান অবস্থিত। উভয় আধানের সংযোগকারী সরলরেখার উপর প্রথম আধান হইতে 10 cm দূরে অবস্থিত বিন্দুতে বিভব কত হইবে? কোন বিন্দুতে বিভব শূন্য হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]

[0.5 e. s. u. বা 150 v; প্রথম আধান হইতে 12 cm দূরে]

20. +80 এবং -70 e. s. u. তড়িদাধান পরস্পর হইতে 25 cm দূরে অবস্থান করিয়া পরস্পরের উপর 4 dyn বল প্রয়োগ করে। মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপদ্য), 1981] [2.24]

21. বায়ুতে দুইটি ক্ষুদ্র গোলক A এবং B পরস্পর হইতে 20 cm দূরে অবস্থিত। উহার মধ্যস্থলে +18 এবং +8 একক আধানে আহিত। AB সরলরেখার কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান শূন্য হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982] [A হইতে 12 cm দূরে B-এর অভিমুখে]

22. একটি বর্গক্ষেত্রের চারি কোণার 10 e. s. u. পরিমাণ আধান আছে। বর্গক্ষেত্রটির বাহুর দৈর্ঘ্য 8 cm। ইহার কর্ণদ্বয়ের ছেদবিন্দুতে বিভব কত?

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপদ্য), 1982] [7.07 e. s. u.]

23. ধনাত্মক তড়িদাহিত 200 মিলিগ্রাম ভরবিশিষ্ট একটি পিথবল উহা হইতে 2 cm উপরে সঞ্চিত একটি ঋণাত্মক তড়িদাহিত বস্তুর আকর্ষণে শূন্যে স্থির রহিয়াছে। পিথবলের ধনাত্মক আধানের মান 100 e. s. u. হইলে বস্তুর মান কত?

[7.84 e. s. u.]

24. শূন্যস্থানে 12 সেন্টিমিটার দূরত্বে অবস্থিত A এবং B বিন্দুতে যথাক্রমে  $+1 \text{ e. s. u.}$  এবং  $+4 \text{ e. s. u.}$  আধান রাখিলে উহারা পরস্পরের উপর কী বল প্রয়োগ করিবে? AB রেখার উপর A হইতে  $d$  দূরত্বে প্রাবল্যের মান শূন্য হইলে  $d$ -এর মান কত? [ $\frac{1}{3} \text{ dyn, } 4 \text{ cm}$ ]

25. 4 cm দূরে অবস্থিত দুইটি ধাতব গোলকের তড়িদাধান যথাক্রমে  $-20 \text{ e. s. u.}$  এবং  $+10 \text{ e. s. u.}$ । উহাদের কেন্দ্রের সংযোজী সরলরেখার উপর কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান শূন্য হইবে? [খনতড়িদাহিত গোলক হইতে 9.66 cm দূরে]

26. কোন বিন্দু হইতে 5 cm, 6 cm, 7 cm এবং 8 cm দূরে যথাক্রমে  $-500 \text{ e. s. u.}$ ,  $+1200 \text{ e. s. u.}$ ,  $+2100 \text{ e. s. u.}$  এবং  $-3200 \text{ e. s. u.}$  তড়িদাধান রাখা হইল। ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের মান কত ভোল্ট? [0 ভোল্ট]

27. দুইটি পরিবাহী প্লেট 3 cm দূরে পরস্পর সমান্তরালভাবে বসান রহিয়াছে। একটি প্লেটকে কোন তড়িৎ-ক্ষেত্রের 1800 ভোল্ট বিভববিশিষ্ট তড়িদ্বারের সহিত এবং অপর প্লেটটিকে ভূমি-সংলগ্ন করিলে প্লেটদ্বয়ের মধ্যবর্তী অঞ্চলে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হইবে? [2 e. s. u.]

28. 250 e. s. u. পরিমাণ তড়িদাধান P-কে যথাক্রমে 50 e. s. u. এবং  $-300 \text{ e. s. u.}$  পরিমাণ আধান Q এবং R-এর সংযোজী সরলরেখার মাঝামাঝি স্থাপন করা হইল। P-আধানটি Q হইতে 5 cm দূরে এবং R হইতে 10 cm দূরে অবস্থিত। P-এর উপর ক্রিয়াশীল লব্ধি বলের মান কত? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

[1250 dyn, ইহার অভিমুখ P হইতে R-দিকে]

29. 5 cm দূরে অবস্থিত দুইটি সমান্তরাল পরিবাহীর একটিতে  $+220 \text{ volt}$  বিভব-বিশিষ্ট তড়িদ্বারের সহিত এবং অন্যটিকে  $-220 \text{ volt}$  বিভববিশিষ্ট তড়িদ্বারের সহিত যুক্ত করা হইল। এই অবস্থায় পরিবাহীদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান কত হইবে? [0.293 e. s. u. বা 88 volt/cm]

30. দুইটি অন্তরিত পরিবাহীকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা হইল। উহাদের একটিতে আধানের পরিমাণ অপরটির 10 গুণ। বায়ুতে 10 cm দূরে রাখিলে উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ বলের মান 800 mgm-wt হইলে ইহাদের আধানের মান নির্ণয় কর। [88.59 e. s. u. এবং 885.9 e. s. u.]

31. 60 গ্রাম ভরবিশিষ্ট দুইটি ধাতব বলকে 5 cm লম্বা সূতা দ্বারা বাঁধিয়া একটি বিন্দু হইতে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। বল দুইটিকে একই ধরনের সমপরিমাণ আধান দ্বারা আহিত করা হইল। বিকর্ষণের ফলে বল দুইটি পরস্পর হইতে 6 cm সরিয়া গেল। দেখাও যে, প্রতিটি বলে আধানের পরিমাণ 1260 e. s. u.।

32. একটি ক্ষুদ্র আহিত গোলককে একটি তুলাদণ্ডের একপ্রান্তে ঝুলাইয়া দিয়া সমান আধানবিশিষ্ট অপর একটি গোলককে প্রথম গোলকটির 2 cm নীচে রাখিয়া দেখা গেল যে, প্রথম গোলকটির ওজনের 0.04 gm আপাত-হ্রাস ঘটিয়াছে। গোলক দুইটির আধানের মান কত? [12.52 e. s. u.]

33. ধনাত্মক তড়িতে আহিত 0.5 গ্রাম ওজনের একটি পিথবল উহা হইতে 10 cm উপরে রক্ষিত একটি ঋণাত্মক তড়িদাহিত বস্তুর আকর্ষণে শূন্যে স্থির রহিয়াছে। পিথবলের ধনাত্মক আধান 100 e. s. u. হইলে বস্তুর আধানের মান কত? [-490 e. s. u.]

34. একটি বর্গক্ষেত্রের প্রতিটি শীর্ষবিন্দুতে  $+30 \text{ e. s. u.}$  পরিমাণ তড়িদাধান রাখা

হইল। বর্গক্ষেত্রের প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য 8 cm হইলে ইহার কর্ণদ্বয়ের ছেদবিন্দুতে তড়িৎ-বিভব নির্ণয় কর। [15 √2 e. s. u.]

35. দুইটি ক্ষুদ্র গোলকের ওজন 0.15 gm এবং উহাদের আধান সমান। 25 cm লম্বা সিলিন্ডার সূতার সাহায্যে উহার একই বিন্দু হইতে ঝুলান। সাম্যাবস্থায় সূতা দুইটির উভয়েই উল্লম্বরেখার সহিত 10° কোণ করিয়া থাকে। গোলকটির দুইটির প্রতিটিতে কী পরিমাণ আধান আছে? [15.6 e. s. u.]

36. 0.05 gm ভরবিশিষ্ট একটি পিণ্ডবলে 100 e. s. u. তড়িদাধান আছে। উহার ঠিক 10 cm উপরে অবস্থিত একটি বলের তড়িদাধান কত হইলে উহা পিণ্ডবলটিকে সাম্যাবস্থায় বিধৃত রাখিবে? [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1964] [-49 e. s. u.]

### জটিলতর গাণিতিক প্রশ্নাবলী

37.  $q$  আধানবিশিষ্ট তিনটি ক্ষুদ্র গোলককে  $r$  ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তের পরিধির উপর স্থাপন করা হইল যাহাতে সংযোজী সরলরেখাগুলি একটি সমবাহু ত্রিভুজ গঠন করে। বৃত্তটির কেন্দ্রে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও বিভব কত নির্ণয় কর।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1968]  $\left[0, \frac{3q}{r}\right]$

38. একই রকম  $N$ -সংখ্যক পারদবিন্দুকে আহিত করিয়া  $V$  বিভবে আনা হইল। এই পারদবিন্দুগুলি একত্রে মিলিত হইয়া যে-বৃহদাকার বিন্দু গঠিত হয় উহার বিভব কত? ধরিয়া লও যে, পারদবিন্দুগুলি গোলাকার।  $[\sqrt{N^2 \cdot V}]$

39. 8340 V বিভব-বৈষম্যে আহিত দুইটি সমান্তরাল অনুভূমিক পরিবাহী পাতের মধ্যবর্তী উল্লম্ব তড়িৎ-ক্ষেত্র  $1.3 \times 10^{-6}$  m ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি আহিত তৈলকণার নিম্নাভিমুখী অভিকর্ষের টানে পতনকে রোধ করিতেছে। পাত দুইটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 16 mm এবং তেলের ঘনত্ব  $920 \text{ kg/m}^3$ । তৈলকণাতে আধানের পরিমাণ কত নির্ণয় কর। ( $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$ ) [অক্সফোর্ড এবং কেম্ব্রিজ স্কুল বোর্ড]  $[1.6 \times 10^{-10} \text{ C}]$

40. 10 cm বাহুবিশিষ্ট ABCD বর্গক্ষেত্রের একটি শীর্ষবিন্দু A-তে 200 e. s. u. তড়িদাধান স্থাপন করা হইল। বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে অপর একটি আধান -100 e. s. u. রাখা হইল। +15 e. s. u. তড়িদাধানকে শীর্ষবিন্দু C হইতে শীর্ষবিন্দু B-তে আনিতে কী পরিমাণ কার্য করিতে হইবে নির্ণয় কর।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1972]  $[87.9 \text{ erg}]$

41. 100 gm ভরবিশিষ্ট এবং  $5 \times 10^{-8} \text{ C}$  আধানবাহী একটি দোলকপিণ্ড  $10^4 \text{ V/m}$  মানের সুস্থম অনুভূমিক বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে স্থির অবস্থায় আছে। দোলকটির সূতার টান এবং উল্লম্ব রেখার সহিত সূতাটি যে-কোণ করিয়া থাকে তাহা নির্ণয় কর।

$[110 \text{ dyn}, 27^\circ]$

42. ABCD একটি রম্বস। ইহার প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য  $a$  cm এবং D কোণের মান  $60^\circ$ । A, B এবং C—এই বিন্দুগুলির প্রতিটিতে  $q$  একক আধান স্থাপন করা হইল। D বিন্দুর বিভব নির্ণয় কর এবং দেখাও যে, ইহার মান রম্বসটির কর্ণদ্বয়ের ছেদবিন্দুর তড়িৎ-বিভবের অর্ধেক।

$\left[ q \left( \frac{2\sqrt{3}+1}{\sqrt{3}a} \right) \text{ একক} \right]$



## ধারক ও ধারকত্ব

*Godless science reads nature only as Milton's daughters did Hebrew, rightly syllabing the sentences, but utterly ignorant of the meaning.* —Coley

### 3.1 ধারকত্ব (Capacitance)

কোন বস্তুকে তাপ দিলে যেমন উষ্ণতা বাড়ে, তেমনি কোন পরিবাহীকে ধনাত্মক আধান দিলে উহার বিভব বাড়ে। একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ সকল বস্তুর উষ্ণতা যেমন সমানভাবে বৃদ্ধি করে না, তেমনি একই পরিমাণ তড়িদাধান লাভ করিয়া সকল পরিবাহী সমান বিভব লাভ করে না। কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ দিলে কোন বস্তুর উষ্ণতা কতটা বাড়িবে তাহা নির্ভর করে ঐ বস্তুর তাপ-ধারণ-ক্ষমতা বা তাপ গ্রাহিতার (thermal capacity) উপর। তেমনি, কোন পরিবাহীকে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িদাধান দিলে উহার বিভব কতটা বৃদ্ধি পাইবে তাহা নির্ভর করে পরিবাহীর আকার (size), আকৃতি (shape), অন্য পরিবাহীর সান্নিধ্য ইত্যাদির উপর।

কোন নির্দিষ্ট পরিবাহীর বিভব সর্বদা উহার আধানের সমানুপাতিক। কোন পরিবাহীকে  $Q$  পরিমাণ তড়িদাধানে আহিত করিলে উহার বিভব যদি  $\phi$  হয় তাহা হইলে

$$Q \propto \phi \text{ বা, } R = C \cdot \phi \quad \dots (3.1)$$

এখানে  $C$  একটি ধ্রুবক। ইহা পরিবাহীর আকার, জ্যামিতিক আকৃতি এবং অন্য পরিবাহীর সান্নিধ্যের উপর নির্ভর করে। ইহাকে পরিবাহীর ধারকত্ব (capacitance) বলে। সমীকরণ (3.1) হইতে পাই,

$$C = Q/\phi \quad \dots (3.2)$$

এখন,  $\phi = 1$  হইলে  $C = Q$  হইবে। সুতরাং বলা যায়, কোন পরিবাহীর তড়িৎ-বিভব একক পরিমাণ বৃদ্ধি করিতে উহাতে যে-পরিমাণ তড়িদাধান দিতে হয় তাহাই উক্ত পরিবাহীর ধারকত্ব।

সমীকরণ (3.2)-কে ভাষায় প্রকাশ করিলে বলা যায়,

$$\text{ধারকত্ব} = \frac{\text{আধানের পরিমাণ}}{\text{তড়িৎ-বিভব}}$$

### 3.2 ধারকত্বের একক

সমীকরণ (3.2) হইতে দেখা যাইতেছে যে, যদি  $Q = 1 \text{ e.s.u.}$  এবং  $\phi = 1 \text{ e.s.u.}$  হয়, তবে  $C = 1 \text{ e.s.u.}$  হইবে। অতএব,  $1 \text{ e.s.u.}$  তড়িদাধান লাভ করিয়া যদি



কোন পরিবাহীর তড়িৎ-বিভব 1 e.s.u. বৃদ্ধি পায় তাহা হইলে উহার ধারকত্ব হইবে 1 e.s.u.। ধারকত্বের এই একককে statfarad-ও বলা হয়।

ধারকত্বে ব্যবহারিক এককের নাম ফ্যারাড (farad)। এক কুলম্ব আধান লাভ করিয়া যদি কোন পরিবাহীর তড়িৎ-বিভব এক ভোল্ট হয় তবে উহার ধারকত্ব হইবে এক ফ্যারাড।

$$1 \text{ ফ্যারাড} = 9 \times 10^{11} \text{ e.s.u. ( বা statfarads)}$$

একক হিসাবে ফ্যারাড খুব বড় বলিয়া সুবিধার জন্য ইহার কয়েকটি ভগাংশকে ধারকত্বের একক রূপে ব্যবহার করা হয়। যেমন,

$$1 \text{ micro-farad (1 } \mu\text{F)} = 10^{-6} \text{ farad}$$

$$1 \text{ pico-farad (1 pF)} = 10^{-12} \text{ farad}$$

### 3.3 পরিবাহীর ধারকত্বের নির্ধারক বিষয়সমূহ (Factors governing capacitance)

কোন পরিবাহীর ধারকত্ব উহার অপরিবর্তনীয় ধর্ম নহে। সমীকরণ (3.2) হইতে আমরা জানি যে,  $C = Q/\phi$ । পূর্বের পরিচ্ছেদে আমরা দেখিয়াছি যে, আধানের মান স্থির থাকিলেও নানা কারণে পরিবাহীর বিভব বদলাইতে পারে। যে-সকল কারণে নির্দিষ্ট আধানে আহিত পরিবাহীর বিভবের পরিবর্তন হয়, সেই সকল কারণে উহার ধারকত্বও পরিবর্তিত হয়। কী কী কারণে পরিবাহীর ধারকত্বের পরিবর্তন হয় তাহা নিম্নে উল্লেখ করা হইল।

(i) পরিবাহীর ক্ষেত্রফল : পরিবাহীর পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পাইলে উহার বিভব কমিয়া যায়, সুতরাং উহার ধারকত্ব বাড়ে।

(ii) পরিবাহীর চতুঃপার্শ্বের মাধ্যম : শূন্যস্থানে কোন পরিবাহীকে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ আধানে আহিত করিলে উহার বিভব সর্বাধিক হয়। কোন পরা-বৈদ্যুতিক মাধ্যমে কোন তড়িদাহিত বস্তুর বিভব ঐ মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা তড়িৎ-মাধ্যমাক্ষের (dielectric constant) বাস্তবানুপাতিক। সুতরাং, কোন পরিবাহীর ধারকত্ব মাধ্যমের তড়িৎ-মাধ্যমাক্ষের সমানুপাতিক।

(iii) অন্যান্য পরিবাহীর সান্নিধ্য : পারিপার্শ্বিক অন্যান্য পরিবাহীর উপস্থিতিতে কোন পরিবাহীর বিভব হ্রাস পায়, ফলে উহার ধারকত্ব বাড়ে। নিকটস্থ পরিবাহী যদি ভূ-সংলগ্ন হয় তাহা হইলে উহার ধারকত্ব আরও বৃদ্ধি পায়।

### 3.4 গোলকের ধারকত্ব (Capacitance of a sphere)

মনে করি, কোন গোলকের ব্যাসার্ধ  $r$ । ইহাকে  $q$  পরিমাণ আধানে আহিত করা হইল। গোলকটি যে-মাধ্যমে আছে তাহার পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান  $\epsilon$ । এই গোলকের আধানের প্রভাবে কোন বহিঃস্থ বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করিতে হইলে এইরূপ কল্পনা করা যায় যে, উহার সম্পূর্ণ আধানই গোলকের কেন্দ্রে সঞ্চিত রহিয়াছে [পরিণিষ্ট দ্রষ্টব্য]। কাজেই গোলকের কেন্দ্র হইতে  $d$  দূরত্বে ( $d > r$ ) অবস্থিত কোন বিন্দুতে বিভব,

$$\phi = q/\epsilon d. \quad \dots (i)$$

সুতরাং, গোলকের পৃষ্ঠের কোন বিন্দুতে ( $d=r$ ) বিভব, অর্থাৎ গোলকের বিভব  
 $\phi = d/\epsilon r$  ... (ii)

কিন্তু ধারকত্বের সংজ্ঞানুসারে,  $\phi = \frac{q}{C}$  ... (iii)

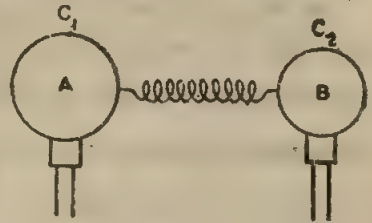
(ii) এবং (iii) হইতে লেখা যায়,  $C = \epsilon r$  ... (3.3)

শূন্যস্থানে  $\epsilon = 1$  বলিয়া  $C = r$  হইবে। অর্থাৎ, শূন্যস্থানে কোন গোলকের ধারকত্বের মান উহার ব্যাসার্ধের মানের সমান। এই গণনায়  $q$  এবং  $\phi$ -কে স্থির-তাত্ত্বিক এককে (electrostatic unit) এবং ব্যাসার্ধ  $r$ -কে সেন্টিমিটারে প্রকাশ করা হইয়াছে। সুতরাং, স্থির-তাত্ত্বিক এককে শূন্যস্থানে কোন গোলকের ধারকত্বের মান উহার ব্যাসার্ধের (সেন্টিমিটার এককে প্রকাশিত) সমান। এই কারণে স্থির তাত্ত্বিক এককে ধারকত্বকে সেন্টিমিটারেও প্রকাশ করা হয়। কোন পরিবাহীর ধারকত্ব 1 সেন্টিমিটার বলিতে বুঝায় যে, উহার ধারকত্ব 1 সেন্টিমিটার ব্যাসার্ধের গোলকের ধারকত্বের সমান।

### 3.5 সংযুক্ত পরিবাহীতে আধান বণ্টন

(Distribution of charge among connected conductors)

ধরি,  $C_1$  এবং  $C_2$  ধারকত্বের দুইটি পরিবাহী A এবং B-কে একটি তার দ্বারা যুক্ত করা হইয়াছে (চিত্র 3.1)। এই সংযুক্ত পরিবাহীদ্বয়কে মোট  $Q$  পরিমাণ আধান দিলে কোনটিতে কতটা আধান থাকিবে তাহা নিম্নরূপে নির্ণয় করা যায়। পরিবাহীদ্বয় পরস্পরের সংস্পর্শে রহিয়াছে বলিয়া সাম্যাবস্থায় উহাদের বিভব সমান হইবে। এই তথ্য কাজে লাগাইয়া কোন্ পরিবাহীতে কতটুকু আধান থাকিবে তাহা স্থির করা যায়। মনে করি, যুক্ত পরিবাহীদ্বয়ের সাধারণ বিভব  $\phi$  এবং পরিবাহীদ্বয়ের আধান  $Q_1$  এবং  $Q_2$ ।



চিত্র 3.1

$$\text{স্পষ্টতই, } Q = Q_1 + Q_2 \quad \dots (i)$$

$$\text{এবং } \begin{cases} Q_1 = C_1 \phi \\ Q_2 = C_2 \phi \end{cases} \quad \dots (ii)$$

পরিবাহী দুইটির সম্মিলিত ধারকত্ব  $C_1 + C_2$  বলিয়া

$$\phi = \frac{Q}{C_1 + C_2} \quad \dots (iii)$$

$$\text{আবার, (ii) হইতে, } \phi = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} \quad \dots (iv)$$

$\therefore$  (iii) এবং (iv) হইতে লেখা যায়,

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \frac{C_1}{C_1 + C_2} Q \\ Q_2 &= \frac{C_2}{C_1 + C_2} Q \end{aligned} \right\}$$

$$\therefore \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1}{C_2} \quad \dots (3.5)$$

অর্থাৎ, পরিবাহী দুইটির আধান উহাদের ধারকত্বের সমানুপাতিক। পরিবাহীদ্বয় গোলকাকার হইলে উহাদের আধান ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক হইবে।

### 3.6 আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি

(Potential energy of a charged conductor)

কোন পরিবাহীকে তড়িদাহিত করিবার সময় কিছু পরিমাণ কার্য করিতে হয়। ঐ কার্য করিতে যে-শক্তি ব্যয়িত হয় তাহা স্থির-বৈদ্যুতিক স্থিতিশক্তি (electrostatic potential energy) হিসাবে তড়িদাহিত পরিবাহীতে সঞ্চিত থাকে।

কোন পরিবাহী নিষ্কৃৎ অবস্থা হইতে তড়িদাহিত হইবার সময় ধীরে ধীরে আধান লাভ করিতে থাকে এবং সেই সঙ্গে উহার বিভবও পরিবর্তিত হইতে থাকে। আমরা C ধারকত্ব বিশিষ্ট একটি পরিবাহীর আহিতকরণ বিবেচনা করি।

পরিবাহীটিকে আহিত করিবার সময় ইহার বিভব ক্রমে 0 হইতে  $\phi$  (ধরি) পর্যন্ত উঠে। ধরা যাক, পরিবাহীতে মোট Q পরিমাণ আধান দেওয়া হইয়াছে।

এই আহিতকরণ প্রক্রিয়ায় কী পরিমাণ কার্য করিতে হয় তাহা সহজে গণনা করিবার জন্য ধরিয়া লওয়া যায় যে, আহিত হইবার সময় পরিবাহীর বিভব 0 হইতে  $\phi$  পর্যন্ত ক্রমশ পরিবর্তিত হয় না, আহিত হইবার সময় পরিবাহীটির গড় বিভব  $\frac{0+\phi}{2}$  বা  $\frac{\phi}{2}$  মানে থাকে। এই অবস্থায় পরিবাহীকে Q পরিমাণ আধান দিলে কৃত কার্যের পরিমাণ,

$$W = \text{গড় বিভব} \times \text{আধান} = \frac{\phi}{2} \times Q = \frac{\phi}{2} \times C\phi = \frac{1}{2} C\phi^2$$

$$\text{কাজেই, } C \text{ ধারকত্ব বিশিষ্ট পরিবাহীর বিভব } \phi \text{ হইলে ইহার স্থিতিশক্তি} \\ = \frac{1}{2} C\phi^2 \quad \dots (3.6)$$

অন্যভাবে লেখা যায়, আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি

$$= \frac{1}{2} C\phi^2 = \frac{1}{2} C\left(\frac{Q}{C}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} \quad \dots (3.7)$$

### ● দুই পরিবাহীতে আধান-বন্টনের সময় শক্তিকণ (Loss of energy on sharing of charge)

দেখান যান যে, এইরূপ আধান বন্টনের সময় পরিবাহী-সংস্থার মোট শক্তির কিছুটা হ্রাস পায়। মনে করি, একটি পরিবাহীর ধারকত্ব  $C_1$  এবং বিভব  $\phi_1$ ; অপর একটি পরিবাহীর ধারকত্ব  $C_2$  এবং বিভব  $\phi_2$ । ইহাদিগকে একটি সমু তার দিয়া পরস্পরের সহিত যুক্ত করা হইল।

পরিবাহী দুইটিকে ভারের সাহায্যে যুক্ত করার পূর্বে পরিবাহী সংস্থার স্থির-বৈদ্যুতিক স্থিতিশক্তি,  $W_1 = \frac{1}{2} C_1 \phi_1^2 + \frac{1}{2} C_2 \phi_2^2 = \frac{1}{2} (C_1 \phi_1^2 + C_2 \phi_2^2)$

পরিবাহীদ্বয়কে পরস্পরের সহিত যুক্ত করিলে উহাদের সাধারণ বিভব হয়

$$\phi = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2}$$

$$\text{বা, } \phi = \frac{C_1\phi_1 + C_2\phi_2}{C_1 + C_2} \quad \dots \quad (3.8)$$

কাজেই, আধান বন্টনের পর আলোচ্য পরিবাহী-সংস্থার স্থির-বৈদ্যুতিক স্থিতিশক্তি,

$$W_s = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) \phi^2 = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) \left( \frac{C_1\phi_1 + C_2\phi_2}{C_1 + C_2} \right)^2$$

$$\text{বা, } W_s = \frac{1}{2} \frac{(C_1\phi_1 + C_2\phi_2)^2}{(C_1 + C_2)}$$

∴ আধান-বন্টনের দ্বারা পরিবাহী-সংস্থার শক্তিক্ষয়,

$$\begin{aligned} W_1 - W_s &= \frac{1}{2} \left[ C_1\phi_1^2 + C_2\phi_2^2 - \frac{(C_1\phi_1 + C_2\phi_2)^2}{C_1 + C_2} \right] \\ &= \frac{1}{2(C_1 + C_2)} \left[ (C_1 + C_2)(C_1\phi_1^2 + C_2\phi_2^2) - (C_1\phi_1 + C_2\phi_2)^2 \right] \\ &= \frac{1}{2(C_1 + C_2)} \left[ C_1C_2(\phi_1^2 + \phi_2^2) - 2C_1C_2\phi_1\phi_2 \right] \\ &= \frac{C_1C_2}{2(C_1 + C_2)} \left[ \phi_1^2 + \phi_2^2 - 2\phi_1\phi_2 \right] \\ &= \frac{C_1C_2(\phi_1 - \phi_2)^2}{2(C_1 + C_2)} \end{aligned}$$

লক্ষণীয় যে,  $(\phi_1 - \phi_2)$ -এর মান ধনাত্মকই হোক কিংবা ঋণাত্মকই হোক  $(W_1 - W_s)$  সর্বদা ধনাত্মক। ইহার তাৎপৰ্য এই যে, দুই পরিবাহীর আধান-বন্টনের সময় সর্বদা কিছু পরিমাণ শক্তিক্ষয় হয়। ইহা কি শক্তির নিত্যতা সূত্রের পরিপন্থী? না, আধান-বন্টনের সময় পরিবাহী-সংস্থা যে-শক্তি হারায় তাহা প্রধানত সংযোগকারী তারে তাপশক্তি রূপে আত্মপ্রকাশ করে। উক্ত বিভব-বৈষম্যে বিদ্যমান দুই পরিবাহীর মধ্যে আধান-বন্টনের ক্ষেত্রে অনেক সময় শব্দ ক্ষুলিস্কের সৃষ্টি হয়। এই সময় পরিবাহীর স্থিতিশক্তির লুপ্ত অংশের কিছুটা আলোক-শক্তি এবং শব্দশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণনী •

**উদাহরণ 3.1** 10 সেন্টিমিটার এবং 25 সেন্টিমিটার ধারকত্বের দুইটি পরিবাহীকে পরস্পরের সংস্পর্শে রাখিয়া উহাদের 700 একক আধান দেওয়া হইল। উহাদের সাধারণ বিভব কত হইবে? কোন পরিবাহীতে কত আধান থাকিবে?

**সমাধান :** মনে করি, পরিবাহীদ্বয়ের সাধারণ বিভব  $\phi$  এবং উহাদের আধান যথাক্রমে  $Q_1$  এবং  $Q_2$ ।  $Q_1 = 10\phi$  এবং  $Q_2 = 25\phi$

$$\therefore \text{মোট আধান, } Q_1 + Q_2 = 10\phi + 25\phi = 35\phi$$

$$\text{প্রশ্নের শর্তানুসারে, } Q_1 + Q_2 = 700 \text{ e. s. u.}$$

$$\therefore 35\phi = 700 \quad \text{বা, } \phi = 20 \text{ e. s. u.}$$

$$\therefore Q_1 = 10\phi = 200 \text{ e. s. u.,} \quad Q_2 = 25\phi = 500 \text{ e.s.u.}$$



**উদাহরণ 3.2** দেখাও যে,  $r_1$  এবং  $r_2$  ব্যাসার্ধের দুইটি গোলাকার পরিবাহীকে একটি পরিবাহী তারের সাহায্যে যুক্ত করিয়া আহিত করিলে স্থির অবস্থায় পরিবাহীদ্বয়ের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব উহাদের ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতিক হইবে।

**সমাধান :** আমরা জানি,  $\frac{Q_1}{C_1} = \frac{C_2}{C_2}$  [ সমীকরণ (3.5) হইতে ]

$$C_1 = r_1 \text{ এবং } C_2 = r_2 \text{ বলিয়া } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad \dots \quad (i)$$

$$\text{প্রথম পরিবাহীর তলমাত্রিক ঘনত্ব, } \sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi r_1^2}$$

$$\text{এবং দ্বিতীয় পরিবাহীর তলমাত্রিক ঘনত্ব, } \sigma_2 = \frac{Q_2}{4\pi r_2^2}$$

$$\therefore \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad [\text{সমীকরণ (i) হইতে}]$$

$$\therefore \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad \therefore \sigma \propto \frac{1}{r}$$

**উদাহরণ 3.3** দুইটি সমান আয়তনের এবং সম-ভাঁড়িতে আহিত সাবানফেনার বুদবুদ একত্রে মিশিয়া একটি বুদবুদে পরিণত হইল। পরস্পর মিলিত হইবার পূর্বে উহাদের উভয়ের বিভব ছিল  $P$ ; তাহা হইলে উহাদের মিলনে উৎপন্ন বড় বুদবুদের বিভব কত হইবে?

**সমাধান :** মনে করি, সাবানফেনার বুদবুদ দুইটির ব্যাসার্ধ  $= r_1$

$$\text{সুতরাং, উহাদের উভয়ের আয়তন} = \frac{4}{3}\pi r_1^3$$

$$\text{দুইটি বুদবুদ একত্রে মিলিয়া যে-বড় বুদবুদ সৃষ্টি হইবে, তাহার আয়তন} = 2 \times \frac{4}{3}\pi r_1^3$$

$$\text{ইহার ব্যাসার্ধ } r_2 \text{ হইলে লেখা যায়, } \frac{4}{3}\pi r_2^3 = 2 \times \frac{4}{3}\pi r_1^3$$

$$\therefore r_2 = r_1 \cdot \sqrt[3]{2}$$

মনে করি, দুইটি বুদবুদের মিলনের ফলে উৎপন্ন বড় বুদবুদের বিভব  $= \phi$

$$\text{গোলকের ধারকত্ব উহার ব্যাসার্ধের সমান। সুতরাং, } \frac{C_1}{C_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{\sqrt[3]{2}}$$

$$\text{মিলনের পূর্বে বুদবুদ দুইটির মোট আধানের পরিমাণ} = 2 \times P r_1$$

$$\text{মিলনের পর আধান} = C_2 \phi = r_2 \phi$$

$$\therefore \text{বুদবুদ দুইটির মিলনের ফলে মোট তড়িৎআধানের কোন পরিবর্তন হয় না।}$$

$$\text{কাজেই, } 2P r_1 = r_2 \phi$$

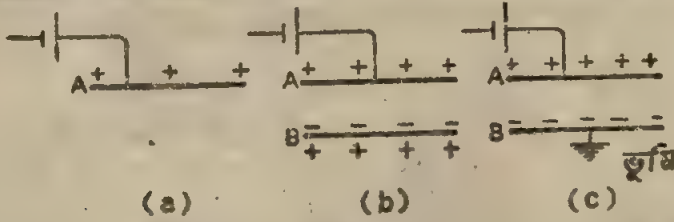
$$\therefore \phi = 2P \times \frac{r_1}{r_2} = \frac{2P}{\sqrt[3]{2}} = P \cdot \sqrt[3]{4} = 1.588 P$$

### 3.7 কন্ডেন্সার বা ধারকের মূলনীতি

(Principle of a condenser)

আমরা উল্লেখ করিয়াছি যে, কোন পরিবাহীর ধারকত্ব কেবল উহার আকৃতি ও পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না, অন্য পরিবাহীর সান্নিধ্যের উপরও নির্ভর করে। মনে করি, কোন ধাতব পাত A-কে একটি তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক মেয়ুর সহিত যুক্ত করা

হইল [ চিত্র 3.2(a) ]। ইহাতে তড়িৎ-কোষ হইতে কিছু পরিমাণ তড়িদাধান A-পাতে আসিবে এবং সাম্যাবস্থায় ইহার তড়িৎ-বিভব তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক মেবুর বিভবের সমান হইবে। এই অবস্থায় A-পাতে কী পরিমাণ তড়িদাধান থাকিবে তাহা নির্ভর



চিত্র 3.2

করিবে ইহার ধারকত্ব এবং তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক মেবুর বিভবের উপর। এইবার, A-পাতের নিকট অপর একটি পরিবাহী পাত B-কে আনা হইল [ চিত্র 3.2 (b) ]। A-পাতের তড়িদাধান B-পাতের নিকটতর পৃষ্ঠে ঋণাত্মক আধান এবং দূরবর্তী পৃষ্ঠে ধনাত্মক আধান আবিষ্ট করিবে। আবিষ্ট ঋণাত্মক আধানের প্রভাবে A-পরিবাহীর বিভব কমিতে চাহিবে। কিন্তু উহা তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক মেবুর সহিত যুক্ত আছে বলিয়া ইহার বিভব কমিবে না। প্রকৃতপক্ষে, এই সময় তড়িৎ-কোষ হইতে আরও কিছু পরিমাণ আধান আসিয়া A-পাতে জমা হইবে এবং A-পাতের বিভবকে কোষের ধনাত্মক তড়িদাধানের বিভবের সহিত সমান রাখিবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, B-পরিবাহীর উপস্থিতিতে A-পাত একই বিভবে থাকিয়া অধিকতর তড়িদাধান সঞ্চিত রাখিবার ক্ষমতা লাভ করিয়াছে। ইহার অর্থ এই যে, B-পরিবাহীর সান্নিধ্যে A-পাতের ধারকত্ব বাড়িয়াছে।

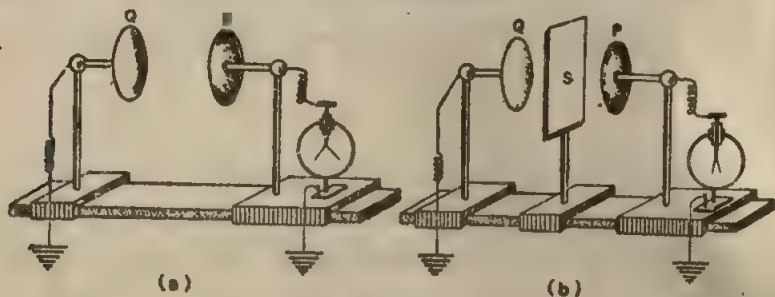
B-পাতের দূরবর্তী পৃষ্ঠের ধনাত্মক আধান A-পাতের বিভব বাড়াইতে চাহে। B-পরিবাহীকে ভূ-সংলগ্ন করিলে এই মুক্ত (free) ধনাত্মক আধান পৃথিবীতে চলিয়া যায়, ফলে A-পাতের উপর কেবলমাত্র বদ্ধ (bound) ঋণাত্মক আধানের প্রভাব ক্রিয়াশীল থাকে। ইহাতে A-পাতের বিভব পূর্বাপেক্ষা কমিতে চাহে; ফলে তড়িৎ-কোষ হইতে আরও কিছু পরিমাণ তড়িদাধান আসিয়া A-পাতে সঞ্চিত হয় এবং A-পাতের বিভবকে তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক মেবুর বিভবের স্থির রাখে। কাজেই দেখা গেল যে, B-পরিবাহীকে ভূ-সংলগ্ন করিলে A-পাতের ধারকত্ব আরও বৃদ্ধি পাইবে।

একটি পরিবাহীর সাহায্যে অপর পরিবাহীর ধারকত্ব বাড়াইবার যান্ত্রিক ব্যবস্থাকেই কন্ডেনসর বা ধারক (condenser or capacitor) বলা হয়। পরীক্ষাগারে নানাবিধ কন্ডেনসর ব্যবহৃত হয়। সাধারণত একই জ্যামিতিক আকারের দুইটি পরিবাহী দ্বারা ইহারা গঠিত। সমান্তরাল পাত ধারক (parallel plate condenser) দুইটি সমান্তরাল ধাতব পাত দ্বারা এবং গোলাীয় ধারক (spherical condenser) বিভিন্ন ব্যাসার্ধের দুইটি সমকেন্দ্রিক গোলাীয় পরিবাহীর দ্বারা গঠিত।

### 3.8 ধারকত্ব-সংজ্ঞাস্ত একটি পরীক্ষা

কোন কন্ডেনসরের ধারকত্ব কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভরশীল তাহা নিম্নের পরীক্ষা হইতে বুঝা যায়।

একটি অনুভূমিক বেগের উপর স্ট্যান্ডের সাহায্যে দুইটি ধাতব পাত P এবং Q-কে অন্তরিতভাবে বসান হইল [চিত্র 3.3 (a)]। ইহাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব ইচ্ছামত পরিবর্তন করা যায়। পাত দুইটির মধ্যে একটি পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম (কাচ, ইবোনাইট, গন্ধক ইত্যাদি) দ্বারা নির্মিত ফলক স্থাপন করা যায়।



চিত্র 3.3

প্রথমে কেবলমাত্র ধাতব পাত দুইটিকে পাশাপাশি রাখিয়া P-পাতটিকে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের সহিত যুক্ত করা হইল। এইবার একটি তড়িৎ-যন্ত্রের সাহায্যে P-পাতটিকে তড়িৎদাহিত করা হইল। ইহাতে স্বর্ণপত্রের বিস্তারিত হইবে। এইবার Q পাতটিকে ভূ-সংলগ্ন করা হইল। দেখা যাইবে যে, স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের পত্র-দ্বয়ের বিস্তারণ কমিয়া গিয়াছে। কিন্তু P-পাত এবং উহার সংলগ্ন তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের আধানের পরিমাণ অপরিবর্তিত রহিয়াছে। ইহাতে বুঝা যায় যে, P-পাতের বিভব কমিয়া গিয়াছে। ভূ-সংলগ্ন পাত Q-কে P-পাতের দিকে সরাইয়া উহাদের দূরত্ব কমাতে থাকিলে স্বর্ণপত্রের বিস্তারণ কমিতে থাকিবে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, পরিবাহী পাতদ্বয়ের দূরত্ব কমিলে কন্ডেনসরের ধারকত্ব বৃদ্ধি পাইবে।

এইবার পাত দুইটির দূরত্ব স্থির রাখিয়া উহাদের মধ্যে কোন পরাবৈদ্যুতিক পদার্থ (dielectric substance) দ্বারা নির্মিত একটি ফলক (S) স্থাপন করা হইল। দেখা যাইবে, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্তারণ কমিয়া গেল [চিত্র 3.3 (b)]। সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, কোন কন্ডেনসরের ধারকত্ব উহার পাত দুইটির মধ্যবর্তী মাধ্যমের উপর নির্ভরশীল।

### 3.9 গোলাকীয় ধারকত্ব ধারকত্ব

(Capacity of a spherical condenser)

মনে করি,  $a$  এবং  $b$  ( $b > a$ ) ব্যাসার্ধবিশিষ্ট দুইটি গোলক দ্বারা একটি ধারক তৈয়ারী করা হইয়াছে। ইহাদের মধ্যবর্তী স্থানটিতে  $\epsilon$  পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকবিশিষ্ট মাধ্যম রহিয়াছে। দুইটি গোলকের মধ্যে বাহিরের গোলকটি ভূ-সংলগ্ন (চিত্র 3.4)।

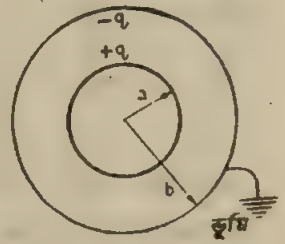
ভিতরের গোলকটিকে  $+q$  আধান দেওয়া হইল। ভিতরের গোলকটি বাহিরের গোলক দ্বারা সম্পূর্ণভাবে বেষ্টিত বলিয়া আবেশের ফলে বাহিরের গোলকটির ভিতরের পৃষ্ঠে  $-q$  আধান আবর্ত্ত হইবে। ভিতরের গোলককে  $+q$  আধানের প্রভাবে ইহার বিভব  $= q/\epsilon a$

বাহিরের গোলক  $-q$  আধানের জন্য উহার মধ্যবর্তী সকল স্থানের বিভব হইবে  $-q/\epsilon b$  [পরিশিষ্ট দৃষ্টব্য]। সুতরাং, ভিতরের গোলকের  $+q$  আধান এবং বাহিরের গোলকের  $-q$  আধানের ফলে ভিতরের গোলকটির বিভব

$$\phi = \frac{q}{\epsilon a} - \frac{q}{\epsilon b} = q \left( \frac{b-a}{\epsilon ba} \right)$$

বাহিরের গোলকটি ডু-সংলগ্ন থাকায় উহার বিভব শূন্য। সুতরাং, দুই গোলকের বিভব-বৈষম্য,

$$\phi = q \left( \frac{b-a}{\epsilon ab} \right)$$



চিত্র 3.4

অতএব, কণ্ডেনসারের ধারকত্ব,  $C = \frac{q}{\phi} = \frac{\epsilon ab}{b-a}$  ... (3.9)

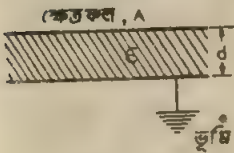
### 3.10 দুইটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব (Capacity of a parallel plate condenser)

যদি গোলায় ধারকের গোলকদ্বয়ের ব্যাসার্ধ  $a$  এবং  $b$  অতি বৃহৎ এবং উহারা পরস্পর প্রায় সমান হয় তাহা হইলে আসন্নরূপে করিয়া লেখা যায়,  $ab = a^2$

সেক্ষেত্রে,  $C = \epsilon \frac{a^2}{b-a}$  [সমীকরণ (3.9) হইতে]

$$= \epsilon \frac{4\pi a^2}{4\pi(b-a)} = \epsilon \times \frac{\text{তড়িদাহিত তলের ক্ষেত্রফল}}{4\pi \times \text{দুই তলের অন্তর্বর্তী দূরত্ব}} \quad \dots (3.10)$$

দুইটি সমান্তরাল পাতাবিশিষ্ট ধারকে অসীম ব্যাসার্ধবিশিষ্ট গোলকের এক অংশ বলিয়া ধরিয়া লওয়া যায়। সুতরাং ইহার ধারকত্বও 3.10 নং সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়।



চিত্র 3.5

মনে করি, পাত দুইটির ক্ষেত্রফল  $= A$  এবং দুই পাতের ব্যবধান  $= d$  (চিত্র 3.5)

$\therefore$  সমীকরণ (3.10) হইতে লেখা যায়,

$$C = \frac{\epsilon \times A}{4\pi d} \quad \dots (3.11)$$

সমান্তরাল পাত ধারকের মধ্যবর্তী স্থানের তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য : মনে করি, দুইটি পাত P এবং Q-এর অন্তর্বর্তী স্থানের তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য  $= E$ ,

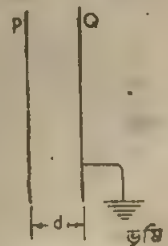
P-পাতের তড়িৎ-বিভব  $= \phi$  এবং

$d =$  পাত দুইটির অন্তর্বর্তী ব্যবধান (চিত্র 3.6)।

একক পরিমাণ ধনাত্মক আধানকে P-পাত হইতে Q-পাতে আনিতে কৃত কার্য,  $E \times d = \phi$  (বিভব-বৈষম্যের সংজ্ঞানুসারে)

$$\therefore \text{তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য, } E = \frac{\text{বিভব-বৈষম্য } (\phi)}{\text{দূরত্ব } (d)} \quad (3.12)$$

$$\text{দুইটি পাতের বিভব-বৈষম্য, } \phi = q/C \quad \dots (3.13)$$



চিত্র 3.6



$q = P$ -পাতের তড়িদাধান  $= \sigma A$ ,  $\sigma$  = আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব

আবার,  $C = \frac{\epsilon A}{4\pi d}$  ... (3.14)

$$\therefore \phi = \frac{q}{C} = \frac{\sigma A}{\frac{\epsilon A}{4\pi d}} = \frac{4\pi\sigma d}{\epsilon}$$

তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য,  $E = \frac{\phi}{d} = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon}$  [সমীকরণ (3.12) হইতে] ... (3.15)

ইহাকে কুলম্বের উপপাদ্য (Coulomb's theorem) বলা হয়।

### 3.11 মিশ্র-মাধ্যমবিশিষ্ট সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব (Capacitance of a parallel plate condenser with a compound dielectric)

মনে করি, সমান্তরাল পাত ধারকের দুইটি পরিবাহী পাত P এবং Q-এর মধ্যে দুইটি ভিন্ন পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের সমান্তরাল পাত প্রবেশ করান যাইয়াছে (চিত্র 3.7)। ইহাদের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক  $\epsilon_1$  ও  $\epsilon_2$  এবং ইহাদের বেধ (thickness) যথাক্রমে  $d_1$  ও  $d_2$  (চিত্র 3.7)। P-প্লেটে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব  $\sigma$  হইলে সমীকরণ (3.15) হইতে পাই,

প্রথম মাধ্যমে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য,  $E_1 = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon_1}$   
 এবং দ্বিতীয় মাধ্যমে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য,  $E_2 = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon_2}$   
 একক পরিমাণ আধানকে Q-পাত হইতে P-পাতে আনিতে কৃত কার্য,  $W = E_1 \cdot d_1 + E_2 \cdot d_2$   
 $= \frac{4\pi\sigma}{\epsilon_1} d_1 + \frac{4\pi\sigma}{\epsilon_2} d_2 = 4\pi\sigma \left( \frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} \right)$  ... (3.16)

কিন্তু, তড়িৎ-বৈতন-বৈষম্যের সংজ্ঞানুসারে,  $\phi = W$

বা,  $\phi = 4\pi\sigma \left( \frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} \right)$  ... (3.17)

সংজ্ঞানুসারে আলোচ্য সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব,

$$C = \frac{q}{\phi} = \frac{\sigma A}{4\pi\sigma \left( \frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} \right)} = \frac{A}{4\pi \left( \frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} \right)}$$
 ... (3.18)

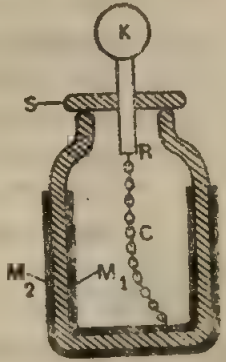
সমান্তরাল পাত ধারকের দুই পাতের মধ্যে  $n$ -সংখ্যক পরাবৈদ্যুতিক প্লেট থাকিলে এবং উহাদের বেধ  $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$  ও পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক যথাক্রমে  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots, \epsilon_n$  হইলে ধারকটির ধারকত্ব,

$$C = \frac{A}{4\pi \left( \frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2} + \frac{d_3}{\epsilon_3} + \dots + \frac{d_n}{\epsilon_n} \right)} = \frac{A}{4\pi \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\epsilon_i}}$$
 ... (3.19)

### 3.12 লিডেন জার (Leyden Jar)

হল্যান্ডের লিডেন বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক গিটার ফান মুসেনব্রুক এবং তাঁহার জনৈক গবেষক ছাত্র তড়িৎ-যন্ত্রের সাহায্যে একটি ফ্লাস্কে রক্ষিত জলকে তড়িদাহিত করিয়া পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিতেছিলেন। ফ্লাস্কে ঢাকনার মধ্য দিয়া একটি তার প্রবেশ করান ছিল। ঐ তারটি তড়িৎ-যন্ত্রের সহিত যুক্ত ছিল। ছাত্রটি ফ্লাস্কটিকে হাতে ধরিয়া রাখিয়াছিলেন। মিনিট দুই তড়িৎ-যন্ত্রটি ঢালাইবার পর ছাত্রটি যখন ফ্লাস্কের ঢাকনা হইতে তারটিকে খুলিতে গেলেন তখন তিনি গুরুত্বভাবে বৈদ্যুতিক 'শক' অনুভব করিলেন। এই ঘটনার কারণ খুঁজিতে গিয়া অধ্যাপক ফান মুসেনব্রুক লিডেন জার নামক ধারকটি আবিষ্কার করেন। ইহাই প্রাচীনতম বৈদ্যুতিক ধারক।

লিডেন জারের প্রধান অংশ একটি ক্যচের বোতল (চিত্র 3.8)। বোতলের বাহিরে এবং ভিতরে পাতলা টিনের পাত ( $M_1$ ,  $M_2$ ) লাগান থাকে। অন্তরক পদার্থের একটি ঢাকনার সাহায্যে বোতলের মুখটি আটকান থাকে। অন্তরক ঢাকনা (S)-এর মধ্য দিয়া একটি পিতলের দণ্ড (R) প্রবেশ করান থাকে। দণ্ডের নিচের প্রান্তে পিতলের তৈয়ারী একগাছি শিকল (C) যুক্ত থাকে। ইহার সাহায্যে দণ্ডটি বোতলের অভ্যন্তরীণ টিনের পাতের সহিত বৈদ্যুতিক সংযোগ রক্ষা করে। দণ্ডটির মাথায় একটি নব (knob) K যুক্ত থাকে। টিনের পাত দুইটি প্রকৃতপক্ষে ধারকের দুইটি পরিবাহী পাতের ক্রিয়া করে। ইহাদের মধ্যবর্তী কাচ ধারকটির পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের ন্যায় ক্রিয়া করে। গাঠের কাচ যত পাতলা হইবে ধারকের দুই পাতের ব্যবধানও তত কম হইবে এবং ধারকটির ধারকত্ব বাড়িবে। আমরা জানি যে, সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব



চিত্র 3.8

$$C = \frac{\epsilon \times \text{প্রতিটি পাতের ক্ষেত্রফল (A)}}{4\pi \times \text{পাতদ্বয়ের ব্যবধান (d)}}$$

এক্ষেত্রে,  $A = \pi r^2 + 2\pi rh$ ,  $r$  = বোতলের ব্যাসার্ধ,

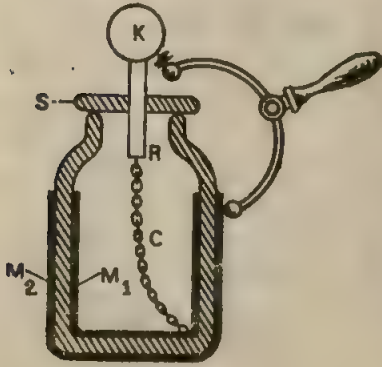
$h$  = টিনের পাতের উচ্চতা

$$\text{অতএব, লিডেন জারের ধারকত্ব, } C = \frac{\epsilon (\pi r^2 + 2\pi rh)}{4\pi d} \quad \dots \quad (3.20)$$

$$= \frac{\epsilon r (r + 2h)}{4d}, \quad d = \text{কাচের পাতের বেধ}$$

লিডেন জারকে আহিত করা : লিডেন জারকে আহিত করিবার সময় সাধারণত বাহিরের টিনের পাত  $M_2$ -কে ভূ-সংলগ্ন রাখা হয়। ইহার পর পিতলের দণ্ড R-এর নব টিকে একটি বিদ্যুৎ-উৎপাদক যন্ত্রের ধনাত্মক প্রান্তের সহিত যুক্ত করা হয়। ইহাতে লিডেন জারের অভ্যন্তরীণ টিনের পাতটিতে ধনাত্মক আধান সঞ্চিত হইবে এবং বাহিরের পাত  $M_2$ -এর ভিতরের পৃষ্ঠে ঋণাত্মক আধান আবিষ্ট হইবে।  $M_2$ -এর বাহিরের পৃষ্ঠের ধনাত্মক মুক্ত আধান ভূমিতে চলিয়া যাইবে। ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করিতে হইলে দণ্ডের নবটির সহিত বৈদ্যুতিক যন্ত্রের ঋণাত্মক প্রান্ত যুক্ত করিতে হইবে।

**লিডেন জারের আধানকরণ (Discharging of Leyden jar) :** আহিত লিডেন



চিত্র 3.9

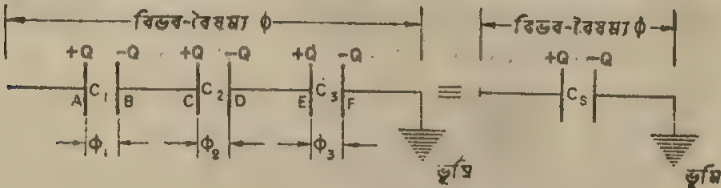
জারের আধান করণ করিতে হইলে ইহার বাহিরের ও ভিতরের পাতের বৈদ্যুতিক সংযোগ ঘটাইতে হইবে। সাধারণত একটি সাঁড়াশির আকারের অন্তরিত পরিবাহীর দ্বারা দণ্ডের নব K-এর সহিত লিডেন জারের বাহিরের পৃষ্ঠের সংযোগ ঘটান হয় (চিত্র 3.9)। সাঁড়াশির এক বাহুকে লিডেন জারের বাহিরের পৃষ্ঠে যুক্ত করিয়া অপর বাহু দ্বারা R-দণ্ডের নব স্পর্শ করান হয়। জারের দুই পাতের বিভব-বৈষম্য বেশি হইলে সাঁড়াশি K-এর নিকটবর্তী হইলেই সাঁড়াশির বাহু ও নবের মধ্যে

বিদ্যুৎ-স্কুলিঙ্গ (spark) করিত হইয়া দুই পাতের আধান প্রশমিত হয়। তাহা না হইলে সাঁড়াশি নবকে স্পর্শ করিলে দুই পাতের আধান প্রশমিত হয়।

### 3.13 বায়ুচক্কর সমবায় (Combination of condensers)

একাধিক ধারককে দুই প্রকার সমবায়ে যুক্ত করা যায়, যথা—(i) শ্রেণী সমবায় (series combination) এবং (ii) সমান্তরাল সমবায় (parallel combination)। এই দুই সমবায়ের একাধিক ধারকের তুল্য ধারকত্ব (equivalent capacitance) কত হইবে নিম্নে তাহা নির্ণয় করা হইল।

(i) শ্রেণী সমবায় : প্রতিটি ধারকের দুইটি করিয়া পাত রহিয়াছে। উহাদের একটির তড়িৎ-বিভব অপরটির তড়িৎ-বিভব অপেক্ষা নিম্নতর রাখা হয়। একটি ধারকের নিম্নতর বিভব-সম্পন্ন পাতের সহিত পরবর্তী ধারকের উচ্চতর বিভব-সম্পন্ন পাতকে পর পর যুক্ত করিয়া যে-সমবায় পাওয়া যায় তাহাকে শ্রেণী সমবায় বলা হয় (চিত্র 3.10)।



চিত্র 3.10

মনে করি,  $C_1$ ,  $C_2$  এবং  $C_3$  ধারকত্ব-বিশিষ্ট তিনটি ধারক শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত রহিয়াছে। প্রথম পাতের ধনাত্মক পাত A-কে তড়িৎ-বস্তুর সাহায্যে আহিত করা হইল। মনে করি, ইহার ফলে P-পাতে  $+Q$  পরিমাণ তড়িদাধান সঞ্চিত হইল। A-পাতের এই আধান B-পাতে  $-Q$  পরিমাণ তড়িদাধান আকর্ষিত করিবে। B এবং C পরস্পরের সহিত যুক্ত অবস্থায় রহিয়াছে। B-C-যুগ্ম অনাহিত ও অন্তরিত বলিয়া ইহাদের মোট তড়িদাধানের মান শূন্য হইবে। কাজেই, B-পাতে  $-Q$  পরিমাণ আধান আকর্ষিত হওয়ায় C-পাতে  $+Q$

পরিমাণ আধান আবিষ্ট হইবে। অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় ধারকের উচ্চতর বিভব-সম্পন্ন পাতে  $+Q$  আধান উহার অপর পাত  $D$ -তে  $-Q$  এবং তৃতীয় ধারকের প্রথম পাতে  $+Q$  আধান আবিষ্ট করিবে।  $E$ -পাতের  $+Q$  আধান  $F$ -পাতে  $-Q$  তড়িদাধান আবিষ্ট করিবে। এই পাতটি ভূমি-সংলগ্ন।

$A-B$ ,  $C-D$  এবং  $E-F$  ধারকের নিজ নিজ পরিবাহীদ্বয়ের মধ্যে বিভব-বৈষম্য যথাক্রমে  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  এবং  $\phi_3$  হইলে সমবায়ের দুই পার্শ্বের (অর্থাৎ,  $A$  এবং  $F$  পাতের) বিভব-বৈষম্য  $\phi$ -এর মান নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে—

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 \quad \dots \quad (i)$$

ধারকত্বের সংজ্ঞা হইতে লেখা যায়,

$$\phi_1 = Q/C_1, \phi_2 = Q/C_2 \text{ এবং } \phi_3 = Q/C_3$$

(i) নং সমীকরণে  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  এবং  $\phi_3$ -এর এই মান বসাইয়া পাই,

$$\phi = Q \left[ \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right] \quad \dots \quad (ii)$$

যে-ধারকের ধনাত্মক পাতে  $Q$  তড়িদাধান রাখিলে এবং অপর পাতটি ভূ-সংলগ্ন রাখিলে উহার দুই পাতের বিভব-বৈষম্য  $\phi$  হইবে। তাহাকে এই সমবায়ের তুল্য ধারক বলা যায়। অর্থাৎ, আলোচ্য শ্রেণী সমবায়ের তুল্য ধারকের ধারকত্ব  $C_s$  হইলে লেখা যায়,

$$C_s = Q/\phi \quad \dots \quad (iii)$$

সমীকরণ (ii) ও (iii) হইতে লিখিতে পারি,

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \dots \quad (3.21)$$

যদি  $n$ -সংখ্যক ধারককে শ্রেণী সমবাসে যুক্ত করা হয় তাহা হইলে ঐ শ্রেণী সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব  $C_s$  নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad \dots \quad (3.22)$$

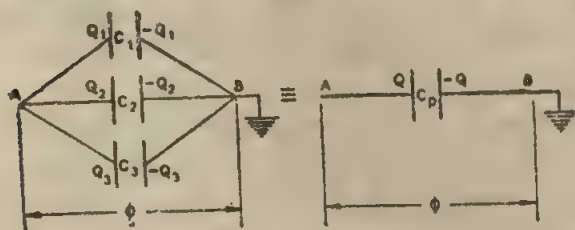
কাজেই, কতকগুলি ধারকের শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব প্রতিটি ধারকের নিজস্ব ধারকত্ব অপেক্ষা কম।

(H) সমান্তরাল সমবাস : বিভিন্ন ধারকের উচ্চতর বিভব-সম্পন্ন পাতগুলিকে একত্রে এবং নিম্নতর বিভব-সম্পন্ন পাতগুলিকে একত্রে যুক্ত করিয়া যে-সমবাস পাওয়া যায় তাহাকে সমান্তরাল বলা হয়।

মনে করি,  $C_1$ ,  $C_2$  এবং  $C_3$  ধারকবিশিষ্ট তিনটি ধারকের প্রতিটির একটি করিয়া পাত  $A$ -বিন্দুর সহিত এবং অপর পাতগুলি  $B$ -বিন্দুর সহিত যুক্ত করা হইল।  $B$ -বিন্দুটি ভূমি-সংলগ্ন (চিত্র 3.11)।  $A$ -বিন্দুর সহিত যুক্ত পাতগুলিকে কোন তড়িৎ-বস্তুর সাহায্যে আহিত করা হইল। ধরা যাক, ইহাতে প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় ধারকের পাত



যথাক্রমে  $Q_1$ ,  $Q_2$  এবং  $Q_3$  আধান সঞ্চিত হইল। আবেশ ক্রিয়ার ফলে প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় ভূ-সংলগ্ন পাতগুলিতে যথাক্রমে  $-Q_1$ ,  $-Q_2$  এবং  $-Q_3$  আধান আবিষ্ট হইবে।



চিত্র 3.11

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

উক্ত সমবায়ের A-র সহিত যুক্ত পরিবাহী-গুলিতে মোট আধান,

$$\dots (i)$$

আলোচ্য সমবায়ের প্রতিটি ধারকের দুই পাতের বিভব-বৈষম্য A এবং B-বিন্দুর বিভব-বৈষম্যের সমান। এই বিভব-বৈষম্যের মান  $\phi$  হইলে ধারকের সংজ্ঞা হইতে লেখা যায়,

$$Q_1 = \phi C_1, Q_2 = \phi C_2, Q_3 = \phi C_3$$

$\therefore$  (i) হইতে লেখা যায়,  $Q = \phi(C_1 + C_2 + C_3)$

$$\dots (ii)$$

আলোচ্য সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য ধারক  $C_p$  হইলে লেখা যায়,

$$Q = \phi C_p$$

$$\dots (iii)$$

(ii) এবং (iii) হইতে পাই  $C_p = C_1 + C_2 + C_3$

$$\dots (3.23)$$

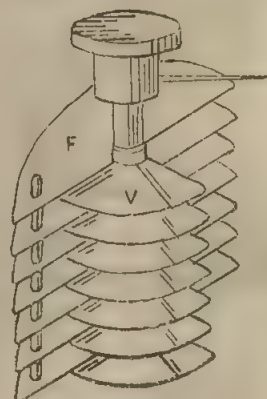
$n$ -সংখ্যক ধারককে সমান্তরাল সমবায়ের যুক্ত করিলে ঐ সমবায়ের তুল্য ধারক

$$\text{হইবে, } C_p = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i \quad \dots (3.24)$$

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, কতকগুলি ধারকের সমান্তরাল সমবায়ের ধারক  $C_p$  ধারকগুলির ধারকত্বের সমষ্টির সমান।

### 3.14 পশ্চি-বর্তনীয় বায়ু ধারক (Variable air condenser)

ইহা কার্যত একটি সমান্তরাল পাত বায়ু-ধারক। এই ধারকটির সুবিধা এই যে, ইহার ধারকত্বকে ইচ্ছামত বাড়ান বা কমান যায়। রেডিও বা বেতার গ্রাহক যন্ত্রে এবং অন্যান্য ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে অনেক সময় বর্তনীয় ধারকত্ব পরিবর্তন করিবার প্রয়োজন হয়। সেই সকল ক্ষেত্রে এই পরিবর্তনীয় ধারক ব্যবহৃত হয়। ইহাতে দুই সারি সমান্তরাল অ্যালুমিনিয়াম প্লেট থাকে (চিত্র 3.12)। ইহাদের মধ্যে একটি সারি স্থির (F), অপরটি ঘূর্ণনক্ষম (V)। ঘূর্ণনক্ষম সারিটি ঘুরাইলে দুই সারির পাতের আচ্ছন্ন ক্ষেত্রফল (area of overlap) পরিবর্তিত হয়, ফলে ধারকটির ধারকত্বের পরিবর্তন হয়। এক্ষেত্রে দুই সারি পাতের মধ্যবর্তী বায়ু পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের ন্যায় ক্রিয়া করে। ঘূর্ণনক্ষম সারির অক্ষের সহিত একটি অপরিবাহী টুপী পরান থাকে।



চিত্র 3.12

উহার সহিত একটি সূচক যুক্ত থাকে। সূচকটি স্কেলের উপর দিয়া ঘোরে। ঐ স্কেল হইতে ধারকত্বের মান পাওয়া যায়।

• সমান্তরাল সমবায়ে গঠিত ধারকত্ব •

উদাহরণ 3.4  $3 \mu F$ ,  $2 \mu F$  এবং  $4 \mu F$  ধারকত্ববিশিষ্ট তিনটি ধারককে (i) শ্রেণী সমবায়ে এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হইল। এই দুই ক্ষেত্রে গঠিত ধারক সমবায়ের তুল্য ধারকত্বের তুলনা কর। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

সমাধান : ধারকগুলি যখন শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত তখন গঠিত ধারক-সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব  $C_s$  হইলে লেখা যায়,

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \quad (\mu F)^{-1}$$

$$\text{বা, } C_s = \frac{12}{13} \mu F \quad \dots (i)$$

আবার, ধারকগুলি যখন সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত তখন গঠিত ধারক-সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব  $C_p$  হইলে লেখা যায়,

$$C_p = 3 + 2 + 4 = 9 \mu F \quad \dots (ii)$$

কাজেই, সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,

$$\frac{C_s}{C_p} = \frac{12/13}{9} = \frac{4}{39}$$

উদাহরণ 3.5 দুইটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 10 এবং 15 e.s.u.। প্রথম ধারকটিকে 10 e. s. u. এবং দ্বিতীয় ধারকটিকে 5 e. s. u. বিভবে আহিত করা হইল। ধারক দুইটিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিলে উহাদের সাধারণ বিভব কত হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

সমাধান : প্রথম ধারকের ধারকত্ব,  $C_1 = 10 \text{ e. s. u.}$

এবং প্রথম ধারকের বিভব,  $\phi_1 = 10 \text{ e. s. u.}$

কাজেই, প্রথম ধারকের তড়িদাধান,  $Q_1 = C_1 \phi_1 = 10 \times 10 = 100 \text{ e. s. u.}$

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় ধারকের তড়িদাধান,  $Q_2 = C_2 \phi_2 = 15 \times 5 = 75 \text{ e. s. u.}$

প্রথম ও দ্বিতীয় ধারকের মোট তড়িদাধান,  $Q = Q_1 + Q_2 = 100 + 75 = 175 \text{ e. s. u.}$

ধারক দুইটিকে সমান্তরালভাবে যুক্ত করিলে গঠিত ধারক সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব,

$$C = C_1 + C_2 = 10 + 15 = 25 \text{ e. s. u.}$$

এই সময় উভয় ধারকের সাধারণ বিভব  $\phi$  হইলে লেখা যায়,

$$\phi = \frac{Q}{C} = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2} = \frac{175}{25} = 7 \text{ e. s. u.}$$

উদাহরণ 3.6 তোমাকে দুইটি সমতল ধাতব পাত এবং  $0.02 \text{ mm}$  বেধবিশিষ্ট একটি অশ্রের পাত দেওয়া হইল। অশ্রের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 6 হইলে  $0.02$  মাইক্রোফ্যারাড ধারকত্ব-বিশিষ্ট একটি ধারক তৈয়ারী করিতে ধাতব পাতের ক্ষেত্রফল কত হওয়া প্রয়োজন? (1 ফ্যারাড  $= 9 \times 10^{11} \text{ e. s. u.}$ )

সমাধান : আমরা জানি যে, সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব

$$C = \frac{\epsilon A}{4\pi d}$$

এখানে,  $C = 0.02 \mu F = 0.02 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{11} \text{ e. s. u.}$

$$\epsilon = 6, d = 0.02 \text{ mm} = 0.002 \text{ cm}$$

$$\therefore C = \frac{6 \times A}{4\pi \times 0.002} = 0.02 \times 9 \times 10^6$$

$$\therefore A = \frac{4\pi \times 0.002 \times 0.02 \times 9 \times 10^6}{6} = 24\pi = 75.36 \text{ cm}^2$$

উদাহরণ 3.7 একটি সমান্তরাল পাত ধারকের পাতগুলির মধ্যে বায়ু রহিত। ইহার পাতদ্বয়ের ক্ষেত্রফল  $400 \text{ cm}^2$  এবং ইহাদের দূরত্ব  $0.05 \text{ cm}$ । ধারকটির একটি পাতকে ভূ-সংলগ্ন করিয়া অপরটিকে  $200 \text{ e. s. u.}$  বিভবে আহিত করিতে কী পরিমাণ তড়িৎপ্রধান প্রয়োজন?

সমাধান : আমরা জানি যে, সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব,  $C = \frac{\epsilon A}{4\pi d}$

এখানে,  $\epsilon = 1, A = 400 \text{ cm}^2$  এবং  $d = 0.05 \text{ cm}$

$$\text{অতএব, } C = \frac{1 \times 400}{4\pi \times 0.05} = 636.9 \text{ e. s. u.}$$

ধনাত্মক পাতে আধানের পরিমাণ = ধারকত্ব  $\times$  বিভব =  $636.9 \times 200 = 127380 \text{ e. s. u.}$

উদাহরণ 3.8 একটি লিডেন জারের ব্যাস  $15 \text{ cm}$  এবং টিনের পাত দুইটির উচ্চতা  $18 \text{ cm}$  এবং কাচের বেধ  $0.25 \text{ cm}$ । কাচের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক  $6.4$  হইলে লিডেন জারটির ধারকত্ব কত?

সমাধান : আমরা জানি, লিডেন জারের ধারকত্ব,  $C = \frac{\epsilon A}{4\pi d}$

এখানে  $A = \pi r^2 + 2\pi rh$ ,  $r = \text{জারের ব্যাসার্ধ} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ cm}$  এবং

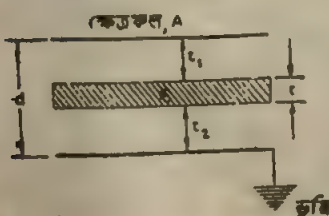
$h = \text{টিনের পাতের উচ্চতা} = 18 \text{ cm}$

$$\therefore A = \pi[r^2 + 2rh] = \pi[(7.5)^2 + 2 \times 7.5 \times 18] = \pi[326.25] \text{ cm}^2$$

$$\therefore C = \frac{\epsilon A}{4\pi d} = \frac{6.4 \times \pi \times 326.25}{4\pi \times 0.25} = 2088 \text{ e. s. u.}$$

কিন্তু  $1 \text{ e. s. u.} = \frac{1}{9} \times 10^{-9} \mu F$

$$\therefore C = 232 \times 10^{-9} \mu F$$



চিত্র 3.13

উদাহরণ 3.9 দুই সমান্তরাল পাতের মধ্যবর্তী ব্যবধান  $d$ । উহার মধ্যে  $\epsilon$  বেধ-বিশিষ্ট এবং  $\epsilon$  পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক-বিশিষ্ট মাধ্যমের একটি প্লেট পরিবাহী পাতদ্বয়ের মধ্যে সমান্তরালভাবে প্রবেশ করান রহিয়াছে। পাত দুইটির মধ্যবর্তী বাকি অংশে বায়ু থাকিলে এই ধারকটির ধারকত্বের মান কত হইবে?

সমাধান : 3.13 নং চিত্রানুসারে উপরের পাত হইতে পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের প্লেটটির উপরিপৃষ্ঠ

পৰ্শ্ব বায়ুস্তরের বেধ  $= t_1$ , প্লেটটির নিচের পৃষ্ঠ হইতে ভূ-সংলগ্ন পরিবাহী পাত পৰ্শ্ব বায়ু-স্তরের বেধ  $= t_2$  এবং প্লেটের  $\epsilon = t$

$$\therefore \text{ধারকত্ব, } C = \frac{A}{4\pi \left[ \frac{t_1}{1} + \frac{t}{\epsilon} + \frac{t_2}{1} \right]} = \frac{A}{4\pi \left( t_1 + t_2 + \frac{t}{\epsilon} \right)}$$

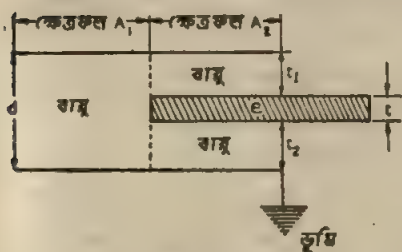
$$\text{কিন্তু } t_1 + t_2 + t = d \quad \therefore t_1 + t_2 = d - t$$

$$\text{অতএব, } C = \frac{A}{4\pi \left( d - t + \frac{t}{\epsilon} \right)}$$

● লক্ষণীয় যে, ধারকত্ব  $C$ -এর মান  $t_1$  এবং  $t_2$ -এর উপর নির্ভরশীল নয়। ইহার অর্থ এই যে, পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের প্লেটটিকে সমান্তরাল পরিবাহী পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী যে-কোন স্থানেই রাখা হউক না কেন, ধারকত্বের মান সর্বদাই এক থাকিবে।

**উদাহরণ 3.10** একটি সমান্তরাল ধারকের ধাতব পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী অঞ্চলের ক্ষেত্রফলের এক অংশে একটি পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের পাত প্রবেশ করান থাকিলে এবং বাকি অংশে বায়ু থাকিলে ধারকটির ধারকত্ব কত হইবে? (3.14 নং চিত্রে প্রয়োজনীয় রাশিগুলির মান দেওয়া আছে।)

**সমাধান :** আলোচ্য ধারকটিকে দুইটি ধারকের সমান্তরাল সমবায়রূপে কল্পনা করা



চিত্র 3.14

যায়। চিত্রে কাটা লাইনের সাহায্যে এই দুইটি ধারককে পৃথক করিয়া দেখান হইয়াছে। স্পষ্টতই দেখা যাইতেছে যে, আলোচ্য ধারকটিকে যে-দুইটি ধারকের সমান্তরাল সমবায় হিসাবে বিবেচনা করা যায় তাহাদের—

- (i) একটিতে কেবলমাত্র বায়ু মাধ্যম (বেধ  $= d$ ) রহিয়াছে এবং
- (ii) অপরটিতে বায়ু এবং পরাবৈদ্যুতিক

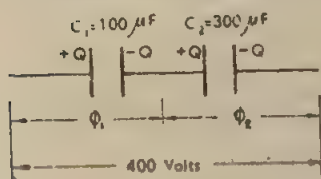
$$C_1 = \frac{A_1}{4\pi d} \text{ এবং } C_2 = \frac{A_2}{4\pi \left( d - t + \frac{t}{\epsilon} \right)} \quad [\text{উদাহরণ 3.9 দ্রষ্টব্য}]$$

$$\text{সুতরাং, আলোচ্য ধারকটির ধারকত্ব, } C = C_1 + C_2 = \frac{A_1}{4\pi d} + \frac{A_2}{4\pi \left( d - t + \frac{t}{\epsilon} \right)}$$

**উদাহরণ 3.11**  $100 \mu F$  এবং  $300 \mu F$  ধারকত্ববিশিষ্ট দুইটি ধারককে প্রণী সমবায়ে যুক্ত করিয়া এই সমবায়ের দুই প্রান্তে  $400$  ভোল্ট বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করা হইল। প্রথম ও দ্বিতীয় ধারকের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের মান কত?



সমাধান : শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত ধারকদ্বয়ের তুল্য ধারক  $C$  হইলে লেখা যায় যে,



চিত্র 3.15

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{100} + \frac{1}{300} = \frac{4}{300} = \frac{1}{75}$$

বা,  $C = 75 \mu F = 75 \times 10^{-6}$  farads

$$Q = C \times 400 = C_1 \phi_1 = C_2 \phi_2$$

$$\therefore \phi_1 = \frac{C \times 400}{C_1} = \frac{75 \times 400}{100} = 300 \text{ volt}$$

$$\text{এবং } \phi_2 = \frac{C \times 400}{C_2} = \frac{75 \times 400}{300} = 100 \text{ volt}$$

**উদাহরণ 3.12** দুইটি অন্তরিত ধাতব গোলক A এবং B-এর ব্যাসার্ধের অনুপাত 4 : 1 ; ইহাদ্বয়কে একই পরিমাণ আধানের সাহায্যে তড়িৎদ্বিভাজিত করা হইল। (i) ইহাদের বিভবের অনুপাত কত? (ii) একটি সরু তারের সাহায্যে ধাতব গোলক দুইটিকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনা হইল। তারটিতে কার্ধত কোন তড়িৎপ্রাধান থাকে না। গোলকদ্বয়ের বৈদ্যুতিক সংযোগ হিন্ন করিবার পর ইহাদের আধানের তুল্যমাত্রিক ঘনত্বের অনুপাত কত হইবে?

সমাধান : মনে করি, A এবং B ধাতব গোলকদ্বয়ের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে  $4r$  cm এবং  $r$  cm। ধরা যাক, ইহাদের উভয়কে  $Q$  পরিমাণ আধান দেওয়া হইল।

(i) A-গোলকটির ধারকত্ব  $= 4r$  e. s. u. বা statfarad

এবং B-গোলকটির ধারকত্ব  $= r$  e. s. u. বা statfarad

$$\therefore \text{A গোলকটির বিভব, } \phi_A = \frac{\text{আধান}}{\text{ধারকত্ব}} = \frac{Q}{4r} \text{ e. s. u. বা statvolt}$$

$$\text{এবং B গোলকটির বিভব, } \phi_B = \frac{Q}{r} \text{ e. s. u. বা statvolt}$$

$$\therefore \frac{\phi_A}{\phi_B} = \frac{Q}{4r} \cdot \frac{r}{Q} = 1/4 \quad \dots \quad (i)$$

(ii) যখন গোলক দুইটিকে তারের সাহায্যে যুক্ত করা হইল তখন গোলকদ্বয়ের সাধারণ বিভব  $= \phi$  (ধরি)

$$\text{মোট আধান, } Q' = Q + Q = 2Q \text{ e. s. u. বা statcoulomb} \quad \dots \quad (ii)$$

$$\text{গোলকদ্বয় পরস্পরের সংস্পর্শে আসিয়া যে-পরিবাহী সৃষ্টি করে উহার ধারকত্ব} \quad \dots \quad (iii)$$

$$C = C_1 + C_2 = 4r + r = 5r \text{ e. s. u. বা statfarad} \quad \dots \quad (iii)$$

$$\text{কাজেই, গোলকদ্বয়ের সাধারণ বিভব, } \phi = \frac{Q'}{C} = \frac{2Q}{5r} \quad \dots \quad (iv)$$

A এবং B-গোলকদ্বয়ের তড়িৎ-সংযোগ বিচ্ছিন্ন করিবার পর A-গোলকের আধান

$$= \text{ধারকত্ব} \times \text{বিভব} = 4r \times \frac{2Q}{5r} = \frac{8Q}{5} \text{ statcoulomb} \quad \dots \quad (v)$$

$$\text{অনুরূপভাবে, B গোলকের আধান} = r \times \frac{2Q}{5r} = \frac{2Q}{5} \text{ statcoulomb} \quad \dots \quad (vi)$$

$$\therefore A\text{-গোলকের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব, } \sigma_A = \frac{\text{আধান}}{\text{পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল}}$$

$$= \frac{8Q}{5 \times 4\pi \times (4r)^2} \left[ (v) \text{ হইতে} \right] = \frac{Q}{40\pi r^2}$$

অনুরূপভাবে, B-গোলকের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব,  $\sigma_B$

$$= \frac{2Q}{5 \times 4\pi r^2} \left[ (vi) \text{ হইতে} \right] = \frac{Q}{10\pi r^2}$$

$$\text{কাজেই, } \frac{\sigma_A}{\sigma_B} = \frac{Q}{40\pi r^2} / \frac{Q}{10\pi r^2} = \frac{1}{4}$$

### সার-সংক্ষেপ

কোন পরিবাহীর তড়িৎ-বিভব একক পরিমাণ বৃদ্ধি করিতে উহাতে যে-পরিমাণ তড়িদাধান দিতে হয় তাহাই উক্ত পরিবাহীর ধারকত্ব।

$$\text{অর্থাৎ, ধারকত্ব} = \frac{\text{আধানের পরিমাণ}}{\text{বিভব}}$$

ধারকত্বের ব্যবহারিক একক হইল ফ্যারাড।

এক কুলম্ব আধান লাভ করিয়া যে-পরিবাহীর তড়িৎ-বিভব এক ভোল্ট হয় উহার ধারকত্ব এক ফ্যারাড।

$$1 \text{ ফ্যারাড} = 9 \times 10^{11} \text{ e. s. u.}$$

$$1 \text{ মাইক্রোফ্যারাড} = 10^{-6} \text{ ফ্যারাড}$$

$$1 \text{ পিকোফ্যারাড} = 10^{-12} \text{ ফ্যারাড}$$

কোন পরিবাহীর ধারকত্ব নির্ভর করে উহার ক্ষেত্রফল এবং উহার চতুর্পার্শ্বের মাধ্যমের তড়িৎ-মাধ্যমাক্ষের উপর। অন্যান্য পরিবাহীর সান্নিধ্যও কোন পরিবাহীর ধারকত্বকে প্রভাবিত করে।

শূন্যস্থানে কোন গোলকের ধারকত্বের মান উহার ব্যাসার্ধের সমান।

C ধারকত্বসম্পন্ন কোন পরিবাহী Q আধান লাভ করিয়া যদি  $\phi$  বিভব পায় তাহা হইলে উহার বৈদ্যুতিক স্থিতিশক্তি

$$= \frac{1}{2} C \phi^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

যখন বিভিন্ন বিভব-বৈষম্যের দুইটি আহিত পরিবাহী পরস্পরের সহিত যুক্ত হয় তখন উহাদের মধ্যে আধানের আদান-প্রদান ঘটে। এই সময় পরিবাহীদ্বয়ের মোট বৈদ্যুতিক স্থিতিশক্তি হ্রাস পায়।

একটি পরিবাহীর সাহায্যে অন্য একটি পরিবাহীর ধারকত্ব বাড়াইবার যান্ত্রিক ব্যবস্থাকে ধারক বা কন্ডেনসর বলা হয়।

$a$  এবং  $b$  ব্যাসার্ধবিশিষ্ট ( $b > a$ ) দুইটি সমকেন্দ্রিক পরিবাহী গোলকের দ্বারা গঠিত গোলীয় ধারকের বাহিরের গোলকটি পৃথিবীতে থাকিলে উহার ধারকত্ব হইবে

$$C = \frac{\epsilon ab}{b-a} \quad (\epsilon = \text{গোলকদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানের মাধ্যমের তড়িৎ-মাধ্যমাক্ষ})$$

$$\text{সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব} \quad \frac{\epsilon A}{4\pi d}$$

$A$  = পরিবাহীদ্বয়ের ক্ষেত্রফল এবং  $d$  = পরিবাহীদ্বয়ের ব্যবধান।

$C_1, C_2, \dots, C_n$  ধারকত্ববিশিষ্ট  $n$ -সংখ্যক ধারককে শ্রেণী সমবাহ্যে যুক্ত করিলে এই সমবাহ্যের তুল্য ধারকত্ব  $C_p$ -নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে :

$$\frac{1}{C_p} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

$C_1, C_2, \dots, C_n$  ধারকত্ববিশিষ্ট  $n$  সংখ্যক ধারককে সমান্তরাল সমবাহ্যে যুক্ত করিলে এই সমবাহ্যের তুল্য ধারকত্ব  $C_p$  নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে :

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i$$

### প্রশ্নাবলী 3

#### তুমিওত্তর প্রশ্নাবলী

1. দুইটি পরিবাহীতে একই প্রকারের সম-পরিমাণ তড়িদাধান আছে। ইহাদের মধ্যে বিস্তব-বৈষম্য থাকিতে পারে কি?

2. কোন আহিত পরিবাহীর নিকট সমতাড়িতে আহিত অন্য একটি বস্তু আনা হইলে ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব হ্রাস পায়। ব্যাখ্যা কর। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

3. সমব্যাসার্ধবিশিষ্ট দুইটি তামার গোলকের মধ্যে একটি ফাঁপা এবং একটি নিরেট। ইহাদিগকে একই তড়িৎ-বিভবে আহিত করা হইল। যদি ইহাদের মধ্যে একটিতে অপরটি অপেক্ষা বেশি আধান থাকে তবে কোন্টির আধান বেশি হইবে?

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1974]

4. কোন ধারকের মাধ্যমটি বায়ু হইলে উহার ধারকত্বের ষে-মান হইবে ঐ মাধ্যমটি অঙ্গ হইলে উহার ধারকত্ব তদপেক্ষা বেশি হইবে। উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

5. 'একটি পরিবাহীর ধারকত্ব 10 cm।' উক্তিটির তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর।

6. 'যে-ব্যবস্থার সাহায্যে একটি অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্ব বাড়ানো যায় তাহাকে ধারক বলা হয়।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

7. একটি সমান্তরাল-পাত ধারক একটি সগুণক কোষের সহিত যুক্ত রহিয়াছে। যদি আমরা ধারকের পাতদ্বয়কে পরস্পর হইতে দূরে সরাই তাহা হইলে আমরা পাতদ্বয়ের

পারস্পরিক স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ বল অতিক্রম করি। ফলে ধনাত্মক কার্য করি। এই কার্য কোথায় যায়? ধারকের শক্তিরই বা কী হয়?

৪. দুইটি ফাঁপা পরিবাহীকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা হইল। ছোটটির বিভব 50 V এবং বড়টির বিভব 100 V। ইহাদ্বয়কে কীরূপে রাখিয়া পরস্পরকে তারের সাহায্যে যুক্ত করিলে ছোট পরিবাহী হইতে বড় পরিবাহীতে ধনাত্মক তড়িদাধান প্রবাহিত হইবে?

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1986]

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

৯. কোন পরিবাহীর ধারকত্ব বলিতে কী বুঝ? ইহার ব্যবহারিক একক কী? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981] কোন পরিবাহীর ধারকত্ব কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে? প্রমাণ কর যে, কোন পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব উহার ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক।

১০. ধারক বলিতে কী বুঝায়? ধারকের মূলনীতির ব্যাখ্যা দাও। ধারকের ধারকত্বের সংজ্ঞা দাও। কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর ইহা নির্ভর করে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

১১. লিডেন জারের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। ইহার ধারকত্বের মান কত?

১২. দুই বা ততোধিক ধারকের শ্রেণী ও সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য ধারকত্বের মান নির্ণয় কর। দেখাও যে, দুইটি সমান ধারকত্ববিশিষ্ট ধারকের সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব উহাদের শ্রেণী সমবায়ের তুল্য ধারকত্বের চারিগুণ।

১৩. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের অন্তর্ভুক্ত আহিত প্লেটটির সহিত একটি ইলেকট্রোস্কোপ যুক্ত করা হইল। (i) ধারকের প্লেট দুইটির দূরত্ব বদলাইলে এবং (ii) পাত দুইটির মধ্যে একটি পরাবৈদ্যুতিক পাত প্রবেশ করাইলে কী হইবে? তোমার পর্ববেক্ষণগুলি ব্যাখ্যা কর।

১৪. কোন ধারকের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

(i) শ্রেণী সমবাসে এবং (ii) সমান্তরাল সমবাসে যুক্ত একাধিক ধারকের তুল্য ধারকত্বের ব্যাক (expression) নির্ণয় কর।

১৫. (i) দেখাও যে, বায়ুতে অবস্থিত একটি গোলায় পরিবাহীর ধারকত্ব ইহার ব্যাসার্ধের সমান। যে-কোন মাধ্যমে রক্ষিত গোলকের ক্ষেত্রেই কি এই উক্তি সত্য? ব্যাখ্যাসহ উত্তর দাও।

(ii) সম-আয়তনের আটটি সমভাবে আহিত জলের ফোঁটা পরস্পর যুক্ত হইয়া একটি বৃহদাকার জলের ফোঁটার পরিণত হইল। ইহাতে ধারকত্ব, বিভব এবং আধানের পরিমাণের কীরূপ পরিবর্তন হইবে?

[ধারকত্ব দ্বিগুণ হইবে, বিভব চতুর্গুণ হইবে এবং মোট আধান অপরিবর্তিত থাকিবে।]

১৬. শ্রেণী-সমবাসে সংযুক্ত  $C_1, C_2, C_3, \dots$  ইত্যাদি ধারকত্ববিশিষ্ট ধারকসমূহের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978]

১৭. দুই সমকেন্দ্রিক পরিবাহী গোলক দ্বারা গঠিত ধারকের বাহিরের গোলকটি ভূমি-সংলগ্ন। এই ধারকটির ধারকত্ব নির্ণয় কর। ইহা হইতে দেখাও যে, একটি সমান্তরাল পাত

ধারকের ধারকত্ব,  $C = \frac{\epsilon A}{4\pi d}$ ।



### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

18. একটি লিডেন জারের ব্যাস 20 cm এবং টিনের পাত দুইটির উচ্চতা 25 cm এবং কাচের বোতলের বেধ 0.25 cm। কাচের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান 6.5 হইলে লিডেন জারের ধারকত্বের মান নির্ণয় কর।  $[433 \cdot 33 \times 10^{-8} \mu F]$

19. পৃথিবীকে 6400 km ব্যাসার্ধের একটি গোলীয় পরিবাহী ধরিয়া মাইক্রোফ্যারাডে ইহার ধারকত্বের মান নির্ণয় কর। **[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]**

(i) 100 cm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি অন্তরিত গোলকের এবং (ii) প্যারAFFিন তেল-এ ( $\epsilon = 2.13$ ) নিমজ্জিত অবস্থায় উপরি-উক্ত গোলকের ধারকত্ব কত?

$[711 \cdot 1 \mu F, 1 \cdot 1 \times 10^{-4} \mu F, 2 \cdot 35 \times 10^{-4} \mu F]$

20. 100 e. s. u. আধান লাভ করিয়া একটি গোলক 25 e. s. u. বিভব প্রাপ্ত হয়। যখন ইহা অন্য একটি অনাহিত গোলকের সহিত যুক্ত হয় তখন ইহার বিভব 10 e. s. u.-তে নামিয়া যায়। গোলকদ্বয়ের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।  $[4 \text{ cm}, 6 \text{ cm}]$

21. দুইটি ধারকের শ্রেণী সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব  $1 \cdot 2 \mu F$  এবং সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব  $5 \mu F$  হইলে ইহাদের ধারকত্বের মান কত?  $[2 \mu F \text{ এবং } 3 \mu F]$

22. 5 একক এবং 4 একক ধারকত্ববিশিষ্ট দুইটি ধারককে সমান্তরাল বিন্যাসে ও শ্রেণী বিন্যাসে যুক্ত করিলে উভয় ক্ষেত্রের মোট ধারকত্বের তুলনা কর।

**[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982] [20 : 81]**

23. দুইটি পরিবাহী গোলকের ব্যাস যথাক্রমে 5 cm এবং 8 cm। ইহাদের উভয়কে 24 e. s. u. আধানের সহিত আহিত করা হইল। যদি ইহাদের একটি সন্মুখ তার দ্বারা যুক্ত করা হয় তাহা হইলে সাম্যাবস্থায় উভয় গোলকের আধানের মান নির্ণয় কর।

$[16 \text{ e. s. u.}, 32 \text{ e. s. u.}]$

24. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রতিটি পাতের ক্ষেত্রফল  $500 \text{ cm}^2$ ; ইহাদের মধ্যে 0.0075 cm বেধের অস্ত্রের পাতের ব্যবধান রহিয়াছে। অস্ত্রের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান 6.5 হইলে মাইক্রোফ্যারাডে ইহার ধারকত্ব কত?  $[0 \cdot 00383 \mu F]$

25. 10 cm ব্যাসার্ধের দুইটি বৃত্তাকার ধাতব পাতের মধ্যে 1 mm বায়ুর ব্যবধান রহিয়াছে। ইহাতে যে-ধারক উৎপন্ন হইল তাহার ধারকত্ব কত?  $[27 \cdot 78 \times 10^{-8} \mu F]$

26.  $40 \mu F$  এবং  $50 \mu F$  ধারকত্ববিশিষ্ট দুইটি ধারককে শ্রেণী সমবয়ে যুক্ত করিয়া এই সমবায়ের দুই প্রান্তে 90 volts বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করা হইল। প্রথম ও দ্বিতীয় ধারকের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের মান কত?  $[50 \text{ volts এবং } 40 \text{ volts}]$

27. একটি গোলককে 200 e. s. u. আধান দ্বারা আহিত করা হইলে ইহা 25 e. s. u. বিভব লাভ করে। ইহার পর এই আহিত গোলকটিকে অপর একটি অনাহিত গোলকের সহিত যুক্ত করা হইল এবং ইহাতে আহিত গোলকটির বিভব কমিয়া 16 e. s. u. হইল। দ্বিতীয় গোলকটির ব্যাসার্ধ কত?  $[4 \cdot 5 \text{ cm}]$

28. দুইটি পরিবাহীর ধারকত্ব যথাক্রমে 40 e.s.u. এবং 60 e.s.u.। পরিবাহীদ্বয়কে একটি সন্মুখ তার দ্বারা যুক্ত করা হইল এবং ইহার পর ইহাদিগকে 200 e. s. u. ভিডাধান

দেওয়া হইল। পরিবাহীধরের সাধারণ বিভব কত ভোল্ট? ইহাদের কোন্টিতে আধানের পরিমাণ কত? [600 V ; 80 e. s. u. এবং 120 e. s. u.]

29. দুইটি পরিবাহী গোলককে (ইহাদের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 1 cm এবং 2 cm) প্রথমে পরস্পরের সংস্পর্শে রাখিয়া উহাদের কিছু পরিমাণ ভাড়াধান দেওয়া হইল। ইহার পর গোলক দুইটিকে (উহাদের আধানক্ষর না করিয়া) সরাইয়া এমনভাবে স্থাপন করা হইল যাহাতে উহাদের কেন্দ্রদ্বয় পরস্পর হইতে 20 cm দূরে থাকে। এই সময় গোলকদ্বয়ের মধ্যে 0.5 dyn বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। গোলকদ্বয়কে প্রথমে কী পরিমাণ আধান দেওয়া হইয়াছিল? আহিত গোলকদ্বয়ের লব্ধি ভাড়াধানে শূন্য প্রাবল্যাসম্পন্ন বিন্দুটির অবস্থানও নির্ণয় কর। [30 e. s. u. ; ক্ষুদ্রতর গোলক হইতে 8.29 cm দূরে]

30. একটি গোলাকার তরলবিন্দুর ব্যাস 2 mm ; ইহাকে  $5 \times 10^{-6}$  e. s. u. ভাড়াধান দেওয়া হইল।

(i) তরলবিন্দুটির পৃষ্ঠের বিভব কত হইবে?

(ii) এইরূপ দুইটি তরলবিন্দু মিলিত হইয়া একটি তরলবিন্দুতে পরিণত হইলে উৎপন্ন তরলবিন্দুটির পৃষ্ঠের বিভব কত হইবে? [আই. আই. টি. এ্যাডমিশন টেষ্ট, 1973]  
[ $5 \times 10^{-5}$  e. s. u.,  $7.94 \times 10^{-5}$  e. s. u.]

31. একই ব্যাসার্ধের আটটি গোলাকার জলবিন্দুকে একই পরিমাণ ভাড়াধানে আহিত করা হইল। জলবিন্দুগুলি মিলিত হইয়া একটি বৃহদাকার জলবিন্দু গঠিত হইল। যদি কোন আধানক্ষর না হয় তাহা হইলে প্রতিটি ক্ষুদ্র জলবিন্দুর বিভবের তুলনায় বড় জলবিন্দুটির বিভব কত হইবে? [চারি গুণ]

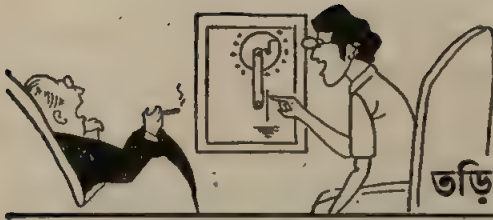
32. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের দুই পরিবাহী পাতের মধ্যে একটি পরাবৈদ্যুতিক পদার্থের প্লেট প্রবেশ করান হইল। দেখাও যে, যদি উক্ত পদার্থের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান  $\epsilon = \frac{2x}{2x-d}$  হয় তাহা হইলে ধারকটির প্রতি একক ক্ষেত্রফলের ধারকত্ব দ্বিগুণ হইবে। এখানে,  $d$  = পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের প্লেটটি প্রবেশ করাইবার পূর্বে দুই পাতের মধ্যবর্তী বায়ুর বেধ এবং  $x$  = পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের প্লেটটির বেধ।

33. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের পরিবাহী প্লেট দুইটি পরস্পর হইতে 2 cm দূরে অবস্থিত। উহাদের মধ্যে 1 cm বেধবিশিষ্ট একটি পরাবৈদ্যুতিক পদার্থের পাত ( $\epsilon = 5$ ) প্রবেশ করান হইল। পরিবাহী প্লেটদ্বয়ের পারস্পরিক অবস্থান পরিবর্তিত করিয়া উহাদিগকে এমন দূরত্বে রাখা হইল যাহাতে ধারকটির ধারকত্ব অপরিবর্তিত থাকে। এক্ষেত্রে প্লেট দুইটির দূরত্ব কত হইবে?

[সমাধানের সঙ্কেত : প্রপ্নের শর্তানুসারে,  $\frac{A}{4\pi \times 2} = \frac{A}{4\pi \left[ x - t + \frac{t}{5} \right]}$

$t$  = পরাবৈদ্যুতিক পাতের বেধ = 1 cm এবং  $x$  = প্লেটদ্বয়ের বর্তমান দূরত্ব

$\therefore 2 = x - t + \frac{t}{5}$  বা,  $x = 2.8 \text{ cm}]$



তড়িৎ-যন্ত্র

The greastest homage we can pay to truth is to use it.

—Emerson

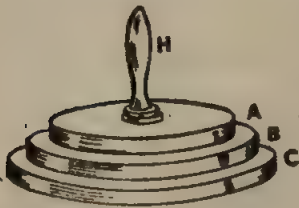
#### 4.1 তড়িৎ-যন্ত্রাদি

তড়িৎ-যন্ত্রের সাহায্যে তড়িদাধান উৎপন্ন করা যায়। প্রকৃতপক্ষে এই যন্ত্রগুলি আধান সৃষ্টি করে না, ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক তড়িদাধানকে পরস্পর হইতে পৃথক করিয়া দেয় মাত্র। তড়িৎ-যন্ত্র সাধারণত দুই প্রকার—(i) ঘর্ষণ-যন্ত্র (frictional machine) এবং (ii) আবেশ-যন্ত্র (induction machine)। আজকাল ঘর্ষণ-যন্ত্রের ব্যবহার আর নাই। বর্তমানের প্রায় সকল তড়িৎ-যন্ত্রই আবেশ-যন্ত্র। নিম্নে আমরা এইরূপ দুইটি তড়িৎ-যন্ত্রের কার্যনীতি আলোচনা করিব।

#### 4.2 ইলেকট্রোকোরাশ (Electrophorus)

এই যন্ত্রের বিভিন্ন অংশগুলি নিম্নে বর্ণিত হইয়াছে (চিত্র 4.1)।

- (i) সংগ্রাহক (Collector) : ইহা একটি খাতব চাকৃতি (A)। ইহার সহিত একটি অন্তরিত হাতল H যুক্ত থাকে। (ii) উৎপাদক (Cake) : ইহা কোন অন্তরক পদার্থের চাকৃতি (B)। সাধারণত ইহা ইবোনাইট, গাল্লা ইত্যাদি পদার্থ দ্বারা তৈয়ারী। ইহা সংগ্রাহক অপেক্ষা আকারে কিছুটা বড় হয়। ইহার উপরিতল অমসৃণ থাকে। ইহাকে ঘষিয়া আধান সৃষ্টি করিয়া সেই আধানকেই সংগ্রাহকে আবিষ্ট তড়িৎ সৃষ্টির কাজে লাগান হয় বলিয়া উহাকে উৎপাদক বলা হয়। (iii) আসন (Sole) ইহা থালার ন্যায় পাতলা পাত (C)।

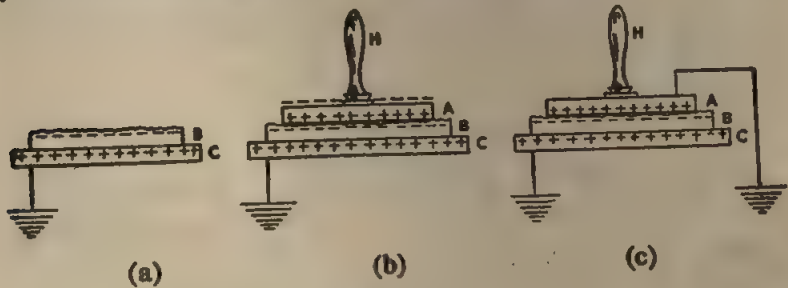


চিত্র 4.1

উৎপাদকটি ইহার উপর বসান থাকে বলিয়া ইহাকে আসন বলা হয়।

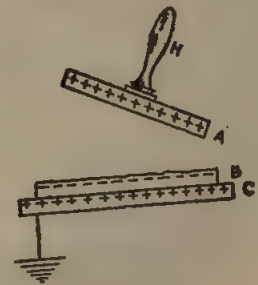
কার্যনীতি : তড়িৎ-উৎপাদনে যন্ত্রটিকে ব্যবহার করিবার জন্য নিম্নলিখিত ধাপগুলি অনুসরণ করিতে হয়। (i) প্রথমে যন্ত্রটির বিভিন্ন অংশ এবং এক টুকরো পশম ভালভাবে শুষ্ক করিয়া লইতে হয়। (ii) ইহার পর উৎপাদক B-কে আসন C-তে বসাইয়া উৎপাদককে পশম দ্বারা ভালভাবে ঘষা হয়। ইহাতে উৎপাদকটি ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইবে। এই আধানের আবেশে আসন C-তে আধান আবিষ্ট হইবে। যুক্ত আধান ভূমিতে চলিয়া বাইবে, বন্ধ (ধনাত্মক) আধান আসনে থাকিবে

[চিত্র 4.2 (a)]। (iii) এইবার সংগ্রাহক A-কে হাতল দ্বারা ধরিয়া উৎপাদকের উপর বসান হইল। উৎপাদকের উপরি-পৃষ্ঠ অমসৃণ হওয়ায় সংগ্রাহক উহার পৃষ্ঠের খুব সামান্য সংখ্যক বিন্দুতে স্পর্শ করিবে। প্রকৃতপক্ষে উহার একটি পাতলা বায়ুস্তর



চিত্র 4.2

দ্বারা বিচ্ছিন্ন থাকে এইরূপ কল্পনা করা যায়। সুতরাং উৎপাদকের সংগ্রাহক চাকৃতি A-তে আবেশ ঘটাইবে এবং উহার নিম্নের পৃষ্ঠে ধনাত্মক আধান এবং উপরের পৃষ্ঠে ঋণাত্মক আধান সৃষ্টি করিবে [চিত্র 4.2 (b)]। (iv) ইহার পর সংগ্রাহককে হাত দিয়া স্পর্শ করিয়া বা অন্য কোন উপায়ে ভূ-সংলগ্ন করা হইল। ইহাতে সংগ্রাহকের উপরে মুক্ত আধান মাটিতে চলিয়া যায় [চিত্র 4.2 (c)]। (v) এইবার অন্তরক হাতল ধরিয়া সংগ্রাহককে উৎপাদক হইতে তুলিয়া সরাইয়া লইলে বদ্ধ ধন-তড়িৎ উহার সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে [4.2 (b)]। এই আধান অন্য পরিবাহীতে সঞ্চারিত করা যায় বা অন্য কোনভাবে ব্যবহার করা যায়। সংগ্রাহক তড়িৎশূন্য হইলে উহাকে পুনরায় B চাকৃতির উপর বসাইয়া পূর্বোক্ত প্রক্রিয়াগুলির পুনরাবৃত্তি করিলে চাকৃতি হইতে পুনরায় আধান সংগ্রহ করা হয়। এইভাবে উৎপাদককে একবার আহিত করিয়া সংগ্রাহক দ্বারা বার বার আধান সংগ্রহ করা যায়।



চিত্র 4.2 (d)

**আসনের উপযোগিতা :** উৎপাদকের ধনাত্মক আধান আসনের উপরি-পৃষ্ঠে ধনাত্মক এবং তলার পৃষ্ঠে ঋণাত্মক তড়িৎ আবির্ভব করে। আসনটি ভূ-সংলগ্ন বলিয়া তলার পৃষ্ঠে ঋণাত্মক আধান মাটিতে চলিয়া যায়। উপরের পৃষ্ঠের বদ্ধ ধনাত্মক আধান উৎপাদকের আধানকে নিচের দিকে টানিয়া রাখে। ফলে উৎপাদকের আধান বহুক্ষণ অক্ষুণ্ণ থাকে।

**ইলেকট্রোস্ট্যাটিকের তড়িৎ-শক্তির উৎস :** ইলেকট্রোস্ট্যাটিকের কার্যনীতি হইতে দেখা গেল যে, উহার উৎপাদককে মাত্র একবার ঘর্ষণ করিয়া উহা হইতে বার বার আধান সংগ্রহ করা যায়। ইহা আপাতদৃষ্টিতে শক্তির নিত্যতা সূত্রের বিরোধী।

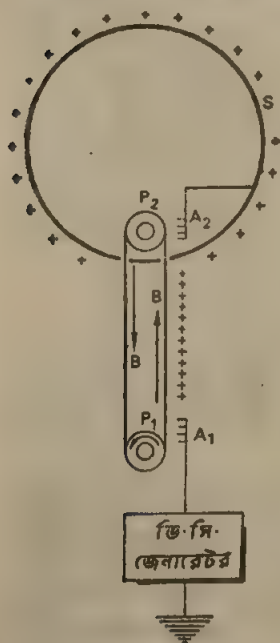


এখানে মনে রাখা প্রয়োজন যে, প্রতিবার ধনাত্মক আধানযুক্ত সংগ্রাহককে ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইবোনাইট চাকতি হইতে বিচ্ছিন্ন করিয়া দূরে সরাইয়া লইবার সময়ে উহার পারস্পরিক আকর্ষণের বিরুদ্ধে 'কার্য' করিতে হয়। এই কার্য করিবার জন্য যে-যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়িত হয় তাহাই বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। সুতরাং, এখানে শক্তির নিত্যতা সূত্র লঙ্ঘিত হইতেছে না।

#### 4.3 ভ্যান-দ-গ্রাফ জেনারেটর (Van de-Graaff generator)

এই যন্ত্রের সাহায্যে অতি উচ্চ মানের বিভব-বৈষম্য (পঞ্চাশ লক্ষ ভোল্ট কিংবা তাহারও বেশি) উৎপাদন করা যায়। পরমাণুর কেন্দ্রীণ-সংক্রান্ত গবেষণায় (nuclear research) এই যন্ত্র অত্যন্ত প্রয়োজনীয়।

ইহাতে একটি বৃহদাকার গোলক (S) একটি অন্তরক স্তরের উপর বসান থাকে। যবার প্লাস্টিক জাতীয় পদার্থ কিংবা অন্য কোন অন্তরক পদার্থের তৈয়ারী একটি বেণ্টকে (B) দুইটি কার্পকলের ( $P_1$ ,  $P_2$ ) সাহায্যে চক্রাকারে ঘূরান হয় (চিত্র 4.3)। উপরের কার্পকল  $P_2$  গোলকটির মধ্যে থাকে। নিচের কার্পকল  $P_1$ -এর সহিত



চিত্র 4.3

একটি বৈদ্যুতিক মোটর যোগ করা থাকে। ইহার সাহায্যেই বেণ্টটি ঘুরান হয়। বেণ্টের নিচের প্রান্তের কাছাকাছি কতকগুলি সূচ্যাগ্র পরিবাহী-শলাকা  $A_1$  রাখা হয়। কোন তড়িৎ-উৎপাদক যন্ত্রের সাহায্যে  $A_1$ -কে আহিত রাখা হয়। মনে করি, উহাতে ধনাত্মক আধান রহিয়াছে।  $A_1$ -এর আধান স্বতঃস্ফূরণ ক্রিয়ায় [ 1.14 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য ] B-বেণ্টে সঞ্চারিত হয়। বেণ্টটি অপরিবাহী পদার্থের তৈয়ারী বলিয়া ঐ আধান ছড়াইয়া পড়িতে পারে না। বেণ্ট চলিতে থাকিলে উহার আহিত অংশ উপরে উঠিতে থাকে এবং এক সময় গোলক S-এর দেহ সংলগ্ন সূচ্যাগ্র শলাকাগুচ্ছ  $A_2$ -এর সম্মুখীন হয়, ফলে সূচী-মুখে ঋণাত্মক তড়িৎ এবং গোলকের উপরি-পৃষ্ঠে ধনাত্মক তড়িৎ আবির্ভূত হয়।  $A_2$  সূচ্যাগ্র-শলাকাগুলির ঋণাত্মক তড়িৎ বেণ্টের ধনাত্মক তড়িৎ দ্বারা শীঘ্রই প্রশমিত হইয়া যায়, ফলে S-গোলক ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয়। (সূচীমুখের ক্রিয়ায়  $A_2$ -এর সূচীমুখগুলি হইতে ইলেকট্রন বাহির হইয়া আসিয়া বেণ্টের ধনাত্মক আধানকে প্রশমিত করে, ফলে গোলকে ধনাত্মক আধান সঞ্চারিত হয়)।

$A_1$ -কে আহিত রাখিয়া বেণ্টকে ক্রমাগত ঘুরাইতে থাকিলে S গোলকে সঞ্চিত আধানের পরিমাণ ক্রমাগত বাড়িতে থাকিবে। ফলে ইহার বিভবও বাড়িতে থাকিবে।

বিত্তীয় একটি গোলকে একইভাবে ঋণাত্মক আধান উৎপন্ন করা যাইতে পারে। তখন বিপরীত আধান-গ্রস্ত উচ্চ বিভবের গোলকদ্বয় তড়িৎ-উৎপাদক যন্ত্রের দুই মেম্বরে রূপে ক্রিয়া করে। গোলকদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য বৃদ্ধি পাইলে বায়ুতে তড়িৎমোক্ষণ হইবার সম্ভাবনা থাকে। এই তড়িৎমোক্ষণ নিবারণের জন্য সমগ্র যন্ত্রটিকে একটি দৃঢ় ধাতব প্রকোষ্ঠে আবদ্ধ রাখিয়া উহাকে উচ্চ চাপের শূন্য বায়ু দ্বারা পূর্ণ করা হয়।

### সার-সংক্ষেপ

যে-যন্ত্রের সাহায্যে স্থির তড়িদাধান উৎপন্ন করা যায় তাহাকে তড়িৎ-যন্ত্র বলা হয়। তড়িৎ-যন্ত্র প্রধানত দুই প্রকার—(i) ঘর্ষণ-যন্ত্র এবং (ii) আবেশ-যন্ত্র। ঘর্ষণ-যন্ত্র বর্তমানে আর ব্যবহৃত হয় না। আজকাল তড়িদাধান উৎপন্নের জন্য আবেশ-যন্ত্রই ব্যবহৃত হয়। ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাস এবং ভ্যান-দ্য-গ্রাফ জেনারেটর—এই তড়িৎ-যন্ত্র দুইটির কার্যনীতি আবেশ-ক্রিয়ার উপর নির্ভরশীল বলিয়া ইহারা আবেশ-যন্ত্র।

ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাস যন্ত্রের উৎপাদককে বসিয়া উহাকে তড়িদাহিত করা হয়। সংগ্রাহক এই উৎপাদক হইতে বার বার আধান সংগ্রহ করিতে পারে। ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাস যন্ত্রে ব্যাপ্ত শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ভ্যান-দ্য-গ্রাফ জেনারেটরের কার্যনীতি নির্ভর করে সূচীমুখের ক্রিয়ার উপর।

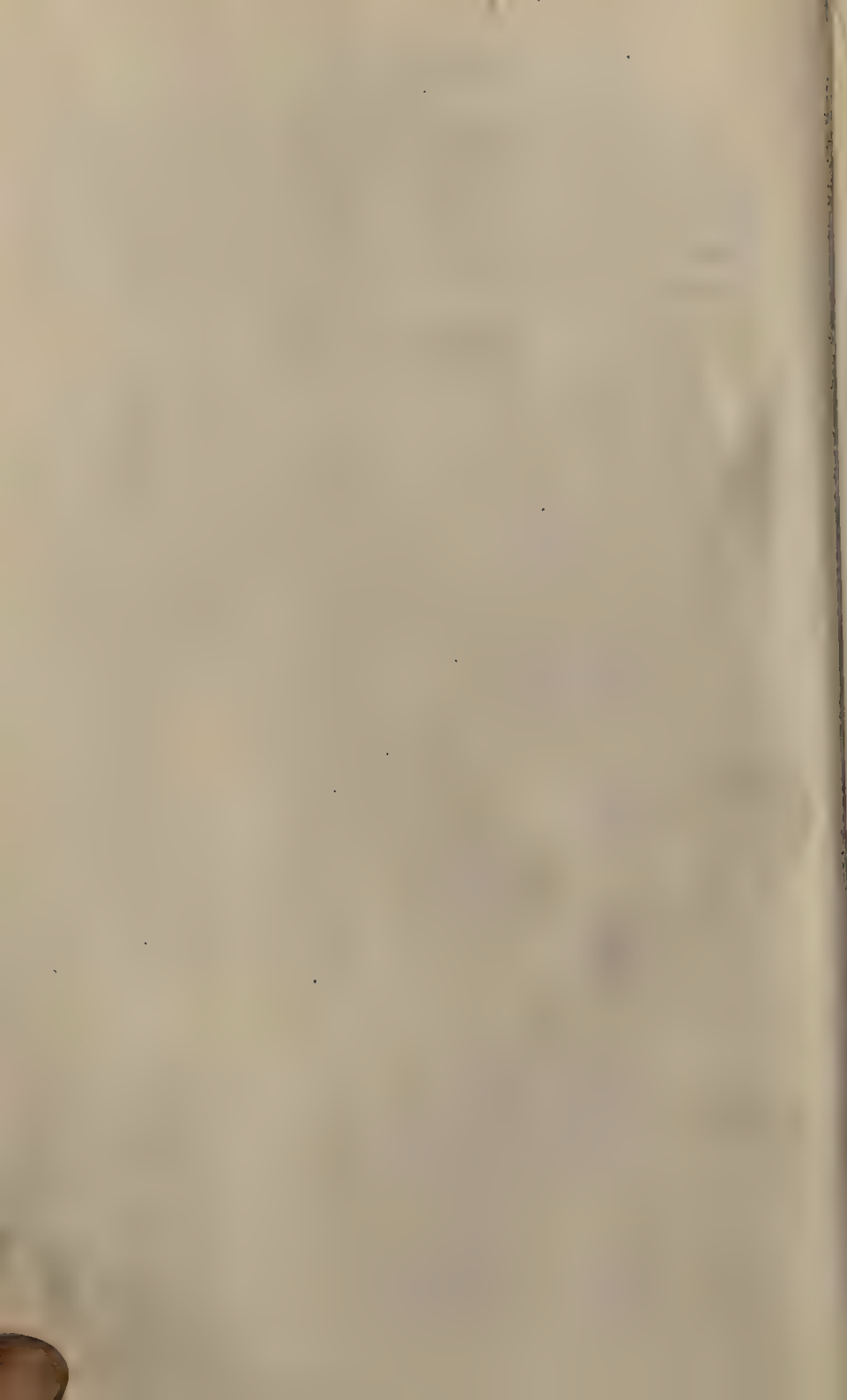
### প্রশ্নাবলী 4

#### হুবোত্তর প্রশ্নাবলী

1. ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাস যন্ত্রের সাহায্যে যখন কোন বস্তুকে তড়িদাহিত করা হয় তখন প্রয়োজনীয় শক্তি কোথা হইতে আসে? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]
2. ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাস যন্ত্রটির আসনটি (sole) কী কাজ করে? ব্যাখ্যা কর।
3. ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাসের উৎপাদককে একবার তড়িদাহিত করিয়া সংগ্রাহকে বার বার তড়িদাধান উৎপন্ন করা হয়। ইহা কি শক্তির নিত্যতা সূত্রের পরিপন্থী?

#### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

4. চিত্রের সাহায্যে ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাস যন্ত্রের বর্ণনা কর। ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। এই যন্ত্রের সাহায্যে তড়িৎ-উৎপাদনে কি শক্তির নিত্যতা সূত্র লিপিত হইতেছে?
5. ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাসের বিভিন্ন অংশের উপযোগিতা ব্যাখ্যা কর। যন্ত্রটির কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।
6. একটি নকশার সাহায্যে ভ্যান-দ্য-গ্রাফ জেনারেটর যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং ইহার কার্যপদ্ধতি ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]
7. ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাস যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। যদি (i) ইলেকট্রোস্ট্যাটোরাসের আসনটি (sole) সরাইয়া লওয়া হয়; (ii) আসনটির সহিত ভূমির সংযোগ ছিন্ন করা হয় তাহা হইলে কি কোনরূপ পরিবর্তন লক্ষিত হইবে?





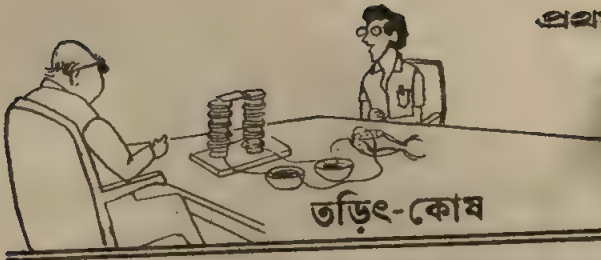
## প্রবাহী তড়িৎ

*Truth comes to us with a slow and doubtful step :  
measuring the ground she treads on, and forever turn-  
ing her curious eye, to see that all is right behind ;  
and with a keen survey choosing her onward path.*

—Percival







## তড়িৎ-কোষ

*There is an idiom in truth which falsehood never can imitate.*

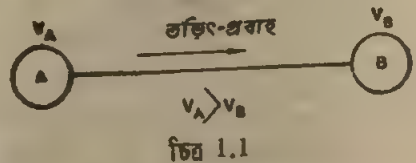
—Lord Napier

### 1.1 সূচনা

বিদ্যুতের ব্যবহার আধুনিক বিজ্ঞান-সভ্যতার পক্ষে অপরিহার্য। বিদ্যুৎ আজ আমাদের আলো দিতেছে, ট্রাম ও ট্রেন চালাইতেছে, যন্ত্রপাতিতে শক্তির যোগান দিতেছে। টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, রেডিও, টেলিভিশন—বর্তমান যুগের এইসব সামগ্রী বিদ্যুতেরই আশীর্বাদস্বরূপ। ইতিপূর্বে আমরা স্থির তড়িৎ-সম্বন্ধে আলোচনা করিয়াছি। স্থির তড়িৎের শক্তি আছে, কিন্তু চলমান না হইলে ইহা কার্য করিতে পারে না। চলমান বিদ্যুৎই বাঁতি জ্বালায়, পাখা চালায় এবং নানাবিধ কার্য করে।

### 1.2 তড়িৎ-প্রবাহ (Electric current)

আমরা জানি যে, দুইটি বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের পার্থক্য থাকিলে ধনাত্মক তড়িৎ উচ্চতর বিভবসম্পন্ন বিন্দু হইতে নিম্নতর বিভবসম্পন্ন বিন্দুর দিকে প্রবাহিত হয়। মনে করি, A এবং B দুইটি তড়িৎদাহিত বস্তু (চিত্র 1.1)। A বস্তুর বিভব ( $V_A$ ) B-বস্তুর বিভব ( $V_B$ ) অপেক্ষা বেশি, অর্থাৎ  $V_A > V_B$ । A এবং B বস্তুদ্বয়কে একটি পরিবাহী তার দ্বারা যুক্ত করিলে A-বস্তু হইতে B-বস্তুর দিকে ধনতড়িৎ প্রবাহিত হইবে। কিন্তু এই প্রবাহ ক্ষণস্থায়ী। কেননা, তড়িৎ-প্রবাহের ফলে দুই বস্তু একই বিভবে আসিবে। দুই বস্তুর



বিভব-বৈষম্য (potential difference) বজায় না থাকায় তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইয়া যাইবে। স্পষ্টতই বুঝা যাইতেছে যে, তড়িৎ-প্রবাহ অব্যাহত রাখিতে হইলে বিভব-বৈষম্য বজায় রাখিতে হইবে। যতক্ষণ পর্যন্ত দুই বিন্দুতে বিভব-বৈষম্য থাকিবে, ততক্ষণ পর্যন্তই ঐ দুই বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিবে। বিভব-বৈষম্য বজায় রাখিবার নানারূপ ব্যবস্থা আছে। উচ্চ মানের তড়িৎ-প্রবাহ ও তড়িৎ-শক্তি যোগাইতে হইলে যান্ত্রিক শক্তির সাহায্য লওয়া হয়। কিন্তু প্রবাহের মান কম হইলে রাসায়নিক উপায়ে বিভব-বৈষম্য বজায় রাখিবার ব্যবস্থা করা হয়। যে-ব্যবস্থা

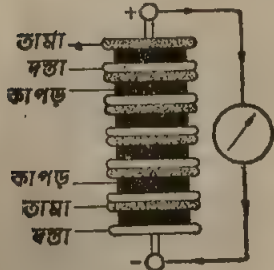
সাহায্যে রাসায়নিক শক্তিকে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয় তাহাকে তড়িৎ-কোষ বলে। তড়িৎ-কোষের সাহায্যে কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য বজায় রাখা যায়, ফলে নিরবচ্ছিন্নভাবে তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়।

### 1.3 তড়িৎ-কোষ আবিষ্কারের পূর্ব-কথা

তড়িৎ-কোষ আবিষ্কারের কৃতিত্ব ইতালীয় বিজ্ঞানী ভোল্টার। কিন্তু এই আবিষ্কারের মূলে আছে ইতালীয় শারীরবিদ গ্যালভানির একটি আকস্মিক আবিষ্কার। 1786 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী গ্যালভানি কাটা ব্যাঙ লইয়া নানাবিধ পরীক্ষা করিতেছিলেন। একদিন তাঁহার গবেষণাগারে একটি পিতলের হুক হইতে লবণজলে-সিক্ত কয়েকটি চামড়া-ছাড়ান ব্যাঙ ঝুলিতেছিল। গ্যালভানি লক্ষ্য করেন যে, বায়ুতে আন্দোলিত হইয়া কাটা-ব্যাঙের পা স্বতবার লোহার রেলিং স্পর্শ করিতেছে ততবারই ব্যাঙের-মাংসপেশী সংকুচিত হইয়া পা ছিটকাইয়া বাইতেছে। তড়িৎ-স্রব হইতে ব্যাঙের শরীরে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া গ্যালভানি ইতিপূর্বে উহার মাংসপেশীর অনুরূপ সঙ্কোচন লক্ষ্য করিয়াছিলেন। ইহা হইতে তাঁহার ধারণা জন্মে যে, ব্যাঙের শরীরে বিদ্যুৎ বর্তমান।

কিন্তু অধ্যাপক আলেক্সান্দ্রো ভোল্টা গ্যালভানির এই সিদ্ধান্ত সম্বন্ধে সন্দেহ প্রকাশ করেন। তিনি গ্যালভানির আবিষ্কারকে একটি নূতন তত্ত্বের আলোতে ব্যাখ্যা করেন। এ তত্ত্বকে ‘বিভব-বৈষম্যের স্পর্শ-তত্ত্ব’ (contact theory of potential difference) বলা হয়। এই তত্ত্বের মূলকথা এই যে, দুইটি বিভিন্ন পরিবাহী পরস্পরের সংস্পর্শে আসিলে দুই পদার্থের মধ্যে একটি বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হয়। এই বিভব-বৈষম্যের মান পদার্থ দুইটির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

1800 খ্রীষ্টাব্দে ভোল্টা তাঁহার বিখ্যাত হুপ (Volta's pile) নির্মাণ করিয়া তাঁহার মতবাদ প্রতিষ্ঠিত করেন। ভোল্টা একখণ্ড তামার পাত ও একখণ্ড দস্তার পাতের মধ্যে অ্যাসিড-মিশ্রিত-জলে ভিজান কাপড় রাখিয়া পাত দুইটিকে একটি



চিত্র 1.2

পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করিয়া দেখাইলেন যে, উহাদের মধ্যে একটি বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হইয়াছে। এইরূপভাবে কতকগুলি তামা ও দস্তার পাত এবং অ্যাসিড-সিক্ত কাপড় পর্যায়ক্রমে সাজাইয়া ভোল্টা একটি হুপ তৈয়ারী করিলেন (চিত্র 1.2)। ইহাকে বলা হয় ভোল্টার স্তূপ। একটি তামা ও একটি দস্তার পাতের মধ্যে অ্যাসিড-সিক্ত কাপড় রাখিলে যে-সরল কোষ তৈয়ারী হয় ভোল্টার হুপ এরূপ কতকগুলি সরল কোষের একটি শ্রেণীবদ্ধ সমবায়। এই হুপের একপ্রান্তে থাকে একটি

তামার পাত, অন্য প্রান্তে থাকে একটি দস্তার পাত। এই দুইটি পাতকে কোন পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করিলে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়।

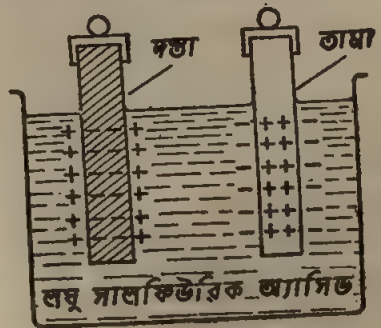
## 1.4 আয়ন ও আয়ন-বিচ্ছেদ (Ion and ionic dissociation)

কোন অণু বা পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হইলে কিংবা উহাতে ইলেকট্রন যুক্ত করিলে উহা তড়িদাহিত হয়। এইরূপ তড়িদাহিত অণু, পরমাণু বা পরমাণু-সংহতিতে আয়ন (ion) বলে। কোন কোন যৌগকে দ্রবীভূত করিলে উহা বিদ্যমান হইয়া দ্রবণে আয়নিত অবস্থায় থাকে। তুংতে ( $\text{CuSO}_4$ )-কে জলে দ্রবীভূত করিলে উহার অণুগুলি বিচ্ছিন্ন হইয়া দ্রবণে ধনাত্মক  $\text{Cu}^{++}$  আয়ন এবং ঋণাত্মক  $\text{SO}_4^{--}$  আয়নে বিভক্ত হয়। জলে দ্রবীভূত অবস্থায় সালফিউরিক অ্যাসিড  $\text{H}^+$  এবং  $\text{SO}_4^{--}$  আয়নে বিভাজিত হয়।

## 1.5 তড়িৎ-কোষের বিভিন্ন-বৈশিষ্ট্য

ধাতব পদার্থের পরমাণুগুলি আয়নিত অবস্থায় থাকে এবং বিচ্ছিন্ন ইলেকট্রনগুলি ইতস্তত ঘুরিয়া বেড়ায়। কোন ধাতুকে আয়নযুক্ত দ্রবণের সংস্পর্শে রাখিলে ধাতু হইতে ধনাত্মক আয়ন তরলে চলিয়া আসিতে চেষ্টা করে। কঠিন পদার্থটি যদি ঐ তরলে দ্রবণীয় হয় তবে উহা সংলগ্ন তরলে ধনাত্মক আয়ন (positive ion) চৌলিয়া দিতে সমর্থ হয়। ফলে ঐ ধাতু নিজে ঋণ-তড়িৎগ্রস্ত এবং উহার সংলগ্ন তরল ধন-তড়িৎগ্রস্ত হয়। পরস্পরের মধ্যে তড়িৎসাম্য স্থাপিত হইলে উহাদের স্পর্শতলের

দুই প্রান্তে বিপরীত আধানের দুইটি স্থির আন্তরণ গঠিত হয়। লর্ড কেলভিন ইহাকে 'তড়িৎ দ্বি-স্তর' (electrical double layer) নামে অভিহিত করিয়াছেন। 1.3 নং চিত্রে একটি দস্তার পাতকে লবু সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণে নিমজ্জিত অবস্থায় দেখান হইয়াছে। দস্তা ঐ দ্রবণে দ্রবীভূত হয় বলিয়া দস্তা ধনাত্মক আয়ন হারাইয়া ঋণ-তড়িৎগ্রস্ত হয়। কোন কোন তরল-কঠিন জুটির ক্ষেত্রে তরলটি



চিত্র 1.3

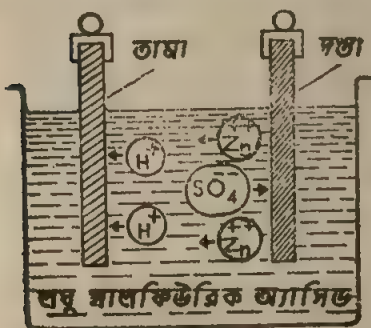
কঠিনের উপর আয়ন জমায়। এইরূপ হইলে কঠিন পদার্থ ধন-তড়িৎগ্রস্ত এবং উহার সংলগ্ন তরলস্তর ঋণ-তড়িৎগ্রস্ত হয়। তাম্রা এবং লবু সালফিউরিক অ্যাসিডের ক্ষেত্রে অনুরূপ ঘটনা ঘটে। 1.3 নং চিত্রের অ্যাসিডে নিমজ্জিত বে-তাম্রার পাত দেখান হইয়াছে উহাতে একটি ধন-তড়িৎের আন্তরণ এবং উহার সংলগ্ন অ্যাসিডের স্তরে ঋণ-তড়িৎের আন্তরণ থাকে।

## 1.6 সরল ভোল্টীয় কোষ (Simple voltaic cell)

একটি দস্তা ও একটি তাম্রার পাতকে একটি কাচপাত্রে লবু সালফিউরিক অ্যাসিডে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় রাখা হইল (চিত্র 1.4)। লক্ষ্য রাখিতে হইবে,



উহারা যেন পরস্পরের গায়ে ঠেকিয়া না যায়। পাত দুইটিকে একটি খাতব তার দিয়া যুক্ত করিলে তারে তড়িৎ-প্রবাহ ঘাইবে। এই ব্যবস্থাকে একটি সরল তড়িৎ-



চিত্র 1.4

কোষ বলা হয়। ইতালীয় পদার্থবিজ্ঞানী ভোল্টা প্রথম এই কোষ নির্মাণ করেন বলিয়া ইহাকে ভোল্টীয় কোষ বলা হয়।

কার্য-প্রণালী : দস্তার পাত লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে ডুবাইলে উহা হইতে কিছু সংখ্যক দস্তার ধনাত্মক আয়ন ( $Zn^{++}$ ) অ্যাসিডে চলিয়া আসে, ফলে অ্যাসিডের সাপেক্ষে দস্তার পাত ঋণাত্মক বিভব লাভ করে। অ্যাসিডের সাপেক্ষে দস্তার বিভব-পার্থক্যের মান  $-0.62$  ভোল্ট। আবার, অ্যাসিডের কিছু পরিমাণ

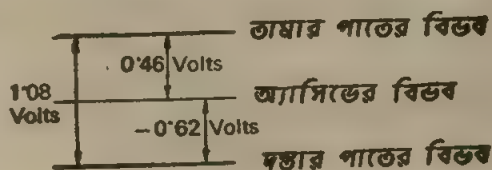
হাইড্রোজেন আয়ন ( $H^+$ ) তামার পাতে জমা হয়, ফলে অ্যাসিডের সাপেক্ষে তামার পাত ঋণাত্মক বিভব লাভ করে। অ্যাসিডের সাপেক্ষে তামার পাতের বিভবের মান প্রায়  $+0.46$  ভোল্ট। সুতরাং, তামার পাত ও দস্তার পাতের মধ্যে বিভব-বৈষম্য  $E = 0.46 - (-0.62) \text{ volts} = 1.08 \text{ volts}$  (চিত্র 1.5)।

দস্তার ও তামার পাতে এই বিভব-বৈষম্যকে ভোল্টীয় কোষের তড়িচ্চালক বল (electromotive force) বলা হয়।

লক্ষণীয় যে, ভোল্টীয় কোষের তড়িচ্চালক বল অ্যাসিডের সাপেক্ষে তামার

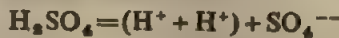
পাতের বিভব এবং দস্তার পাতের বিভবের উপর নির্ভর করে। তামার পাতের কিংবা দস্তার পাতের আকারের উপর অ্যাসিডের সাপেক্ষে ইহাদের বিভব নির্ভর করে না বলিয়া ভোল্টীয় কোষের তড়িচ্চালক বল দস্তার ও তামার পাতের আকারের উপর নির্ভরশীল নয়।

দস্তার পাত ও তামার পাতকে খাতব তার দিয়া যুক্ত করিলে এই বিভব-বৈষম্যের ফলে তারের ভিতর দিয়া দস্তার পাত হইতে তামার পাতের দিকে ইলেকট্রন-প্রবাহ চলিতে থাকে। দস্তার পাত হইতে ইলেকট্রন অপসারিত হইলে উহার ঋণাত্মক আধান হ্রাস পায়, ইহাতে দস্তা ও অ্যাসিডের স্পর্শতলের তড়িৎভিত্তিক দ্বিস্তরের সাম্য ব্যাহত হয়। তখন আরও নূতন ধনাত্মক দস্তার আয়ন ( $Zn^{++}$ ) দস্তার পাত হইতে অ্যাসিডে চলিয়া যায়। ফলে দস্তার পাতের বিভব অক্ষুণ্ণ থাকে।



চিত্র 1.5

লব্ধ সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণে অ্যাসিডের ( $H_2SO_4$ ) অণুগুলি বিচ্ছিন্ন হইয়া  $H^+$  এবং  $SO_4^{--}$  আয়নের আকারে থাকে।



দস্তার পাত হইতে  $Zn^{++}$  আয়ন অ্যাসিডে অ্যাসিয়া ঋণাত্মক সালফেট আয়ন ( $SO_4^{--}$ )-এর সহিত বিক্রিয়া করিয়া  $ZnSO_4$  লবণের অণু গঠন করে। ইহার সাদা গুঁড়া পাত্রের নীচে জমা হইতে দেখা যায়।



অ্যাসিডের  $H^+$ -আয়ন তামার পাতের জমা হয়। পরিবাহী তারের মধ্য দিয়া দস্তা হইতে যে-ইলেকট্রন তামার পাতের দিকে আসে তাহা এই  $H^+$  আয়নের আধানকে প্রশমিত করিয়া উহাকে হাইড্রোজেন পরমাণুতে পরিণত করে। ইহাতে তামার পাতের বিভব অপরিবর্তিত থাকে। দুইটি হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত হইয়া  $H_2$ -অণু গঠন করে এবং তামার পাতের উপর জমা হয়। পরিমাণে বেশি হইলে উহার বুদ্ধবুদ্ধের আকারে বাহির হইয়া যায়।

তড়িৎ-কোষের মধ্য দিয়াও তড়িৎ-প্রবাহ চলে। দস্তা হইতে ধনাত্মক  $Zn^{++}$ -আয়ন দ্রবণে আসে এবং দ্রবণ হইতে  $H^+$  আয়ন তামার দিকে প্রবাহিত হয়। বাহিরের তার দিয়া ঋণাত্মক আধান দস্তা হইতে তামার পাতের আসে। দস্তা এবং তামার পাত হইতে ক্রমাগত তড়িদাধান অপসারিত হইতে থাকিলেও কোষের আভ্যন্তরীণ রাসায়নিক ক্রিয়ায় তামা ও দস্তার পাতের বিভব-বৈষম্য বজায় থাকে। ইহার ফলে কোষের দস্তা এবং সালফিউরিক অ্যাসিড শেষ না হওয়া পর্যন্ত তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে পারে।

উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, তড়িৎ-প্রবাহ বলিতে আমরা ধনাত্মক আধানের প্রবাহ বুঝি। কিন্তু ইলেকট্রন ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রন্থ কণা। কাজেই, ইলেকট্রন যে-দিকে প্রবাহিত হয় তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ উহার বিপরীত দিকে।

### 1.7 তড়িৎ-কোষের শক্তির উৎস

তড়িৎ-কোষের দুইটি পাতকে যোগ করিলে দস্তার পাত হইতে ইলেকট্রন উচ্চতর বিভবসম্পন্ন তামার পাতের দিকে প্রবাহিত হইতে থাকে। প্রবাহমান ইলেকট্রনের গতিশক্তি তাপশক্তিরূপে পরিবাহী তারে আত্মপ্রকাশ করে। এখন প্রশ্ন হইতেছে যে, তড়িৎ-প্রবাহের ফলে যে-শক্তির উদ্ভব হইল তাহার উৎস কোথায়? তড়িৎ-প্রবাহ বজায় রাখিবার জন্য অর্থাৎ ইলেকট্রনের গতিশক্তি বজায় রাখিবার জন্য দুইটি পাতের বিভব-বৈষম্য বজায় রাখা প্রয়োজন। কোষের উপাদানগুলির রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলেই ইহা সম্ভব হয়। প্রবাহ-কালে দস্তা ও অ্যাসিডের রাসায়নিক ক্রিয়ায়  $ZnSO_4$  উৎপন্ন হয়। এই রাসায়নিক বিক্রিয়াকালে যে-শক্তির উদ্ভব হয় তাহাই কোষের তড়িৎ-শক্তির উৎস।

শক্তির নিত্যতা সূত্র হইতে আমরা জানি যে, শক্তির সৃষ্টি বা ধ্বংস নাই, ইহার

রূপান্তর আছে মাত্র। সুতরাং তড়িৎ-শক্তি উৎপন্ন করিতে হইলে অন্য কোন শক্তিকে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করিতে হইবে। তড়িৎ-কোষে রাসায়নিক শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। ডায়নামো বা জেনারেটরে যান্ত্রিক শক্তির বিনিময়ে তড়িৎ-শক্তি উৎপন্ন করা হয়। ফটো-ইলেকট্রিক কোষে (photoelectric cell) আলোক-শক্তি হইতে তড়িৎ-শক্তির উদ্ভব হয়। সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করিতে হইলে অন্য কোন শক্তিকে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করিবার ব্যবস্থা করিতে হইবে।

## 1.8 তড়িচ্চালক বল ও বিভব-বৈষম্য

(Electromotive force and potential difference)

যে-বাহ্যিক প্রভাব স্থির বস্তুকে গতিশীল করিতে পারে বলবিজ্ঞানে তাহাকে আমরা বল (force) আখ্যা দিয়া থাকি। ইহার সহিত সঙ্গতি রাখিয়া তড়িৎ-কোষের তড়িদাধান চালনা করিবার সক্ষমতাকে বলা হইয়াছে উহার ‘তড়িচ্চালক বল’ (electromotive force)। এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, বলবিজ্ঞানের ‘বল’ এবং তড়িৎ-কোষের ‘তড়িচ্চালক বল’ এক জাতীয় রাশি নহে। স্বাভাবিকভাবেই ইহাদের এককও ভিন্ন। বিভব-বৈষম্য এবং তড়িচ্চালক বল—ইহাদের একক অভিন্ন। কিন্তু ইহারা সমার্থজ্ঞাপক নহে। নিম্নে আমরা ইহাদের পার্থক্য আলোচনা করিব।

কোন তারের দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য বজায় রাখিলে উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকে। এই সময় ঐ তারে তড়িৎ-শক্তি রূপান্তরিত হইয়া তাপশক্তি উৎপন্ন করে (চতুর্থ পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। প্রচুর পরিমাণে তাপের উদ্ভব হইলে তারটি উজ্জ্বল হইয়া আলো বিকিরণ করিতে থাকিবে। অর্থাৎ, এই সময় তড়িৎ-শক্তি তাপ ও আলোক-শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকিবে। বৈদ্যুতিক মোটরের আর্মেচারের দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য বজায় থাকিলে উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলে। ইহার ফলে বৈদ্যুতিক মোটর ঘুরিতে থাকে। এই সময় তড়িৎ-শক্তি যান্ত্রিক-শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকে। কাজেই বলা যায় যে, বর্তমানের কোন অংশে তড়িৎ-শক্তি অন্য প্রকার শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকিলে বৃদ্ধিতে হইবে যে, ঐ অংশে বিভব-বৈষম্য রহিয়াছে।

এই প্রসঙ্গে তড়িচ্চালক বলের সহিত বিভব-বৈষম্যের পার্থক্য বিশেষভাবে প্রণিধানযোগ্য। সরল ভোল্টীয় কোষে রাসায়নিক শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া তড়িচ্চালক বল সরবরাহ করে। তাপ-তড়িৎযুগ্মে (thermo-couple) তাপ-শক্তির তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরের ফলে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় (চতুর্থ পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। অনুরূপভাবে, আলোক-তড়িৎ কোষে (photoelectric cell) আলোক শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি করে। কাজেই বলা যায়, বর্তমানের কোন অংশে অন্য প্রকার শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকিলে বৃদ্ধিতে হইবে যে, ঐ অংশে তড়িচ্চালক বল রহিয়াছে।

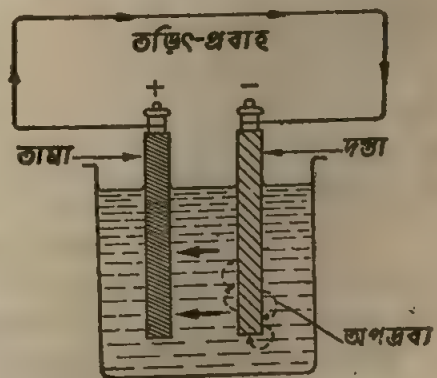
কোন তড়িৎ-কোষের দুই তড়িদ্বারের সহিত কোন পরিবাহীর দুই প্রান্ত যুক্ত করিলে উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিবে এবং উহার দুই প্রান্তে একটি বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হইবে। কোষের তড়িচ্চালক বলই এই প্রবাহ এবং বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিতেছে। কাজেই, তড়িচ্চালক বল কারণ (cause) হইলে বিভব-বৈষম্য ইহার ফল (effect)—এইরূপ বলা যায়।

কোন তড়িৎ-কোষের দুই প্রান্তকে কোন পরিবাহীর সাহায্যে যুক্ত করিলে বহির্বর্তনীতে ধনাত্মক তড়িদ্বার হইতে ঋণাত্মক তড়িদ্বারের দিকে এবং কোষের মধ্য দিয়া ঋণাত্মক তড়িদ্বার হইতে ধনাত্মক তড়িদ্বারের দিকে তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকে। এই সময় কোষের তড়িচ্চালক বলের এক অংশ ব্যয়িত হয় কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ অতিক্রম করিতে। ইহাকে কোষের আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন (internal drop of potential) বলা হয়। কাজেই বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিলে কোষের এই আভ্যন্তরীণ বিভব-পতনের জন্য কোষটির দুই তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্য উহার তড়িচ্চালক বলের সমান হয় না। বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ না থাকিলে আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন ঘটে না বলিয়া এই সময় কোষের দুই মেবুর বিভব-বৈষম্য ইহার তড়িচ্চালক বলের সমান। অর্থাৎ, বর্তনী খোলা থাকিলে দুই তড়িদ্বারে যে-বিভব-বৈষম্য পাওয়া যায় তাহা কোষের তড়িচ্চালক বলের সমান।

### 1.9 সরল ভোল্টীয় কোষের ত্রুটি

একটি সরল ভোল্টীয় কোষের দুইটি তড়িদ্বার (electrodes) যুক্ত করিয়া তড়িৎ-বর্তনী সংহত (closed) করিলে বর্তনীতে যে-তড়িৎ-প্রবাহ চলে তাহা স্থির থাকে না। কিছু সময়ের মধ্যেই প্রবাহমাত্রা কমেতে থাকে এবং অবশেষে একেবারে বন্ধ হইয়া যায়। সরল ভোল্টীয় কোষের স্থির প্রবাহ পাঠাইবার এই অক্ষমতার কারণ প্রধানত দুইটি ; যথা—(i) স্থানীয় ক্রিয়া (local action), (ii) ছদন (polarisation)।

(i) স্থানীয় ক্রিয়া : সরল ভোল্টীয় কোষে তামা ও দস্তা ব্যবহৃত হয়। সাধারণত বাজারে যে-দস্তা পাওয়া যায় তাহা বিশুদ্ধ নহে। উহাতে আর্সেনিক, লোহা, সীসা ইত্যাদি নানাবিধ অপদ্রব্য মিশ্রিত থাকে। আমরা জানি যে, দুইটি বিভিন্ন ধাতু অ্যাসিডের সংস্পর্শে আসিলে একটি তড়িৎ-কোষ গঠিত হয়। সুতরাং, যখন অপদ্রব্য-মিশ্রিত দস্তা অ্যাসিডে ডুবান হয় তখন ঐ সকল অপদ্রব্য এবং দস্তা অ্যাসিডের সংস্পর্শে আসে বলিয়া দস্তার পাতেই উপর অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কোষ সৃষ্টি হয়।



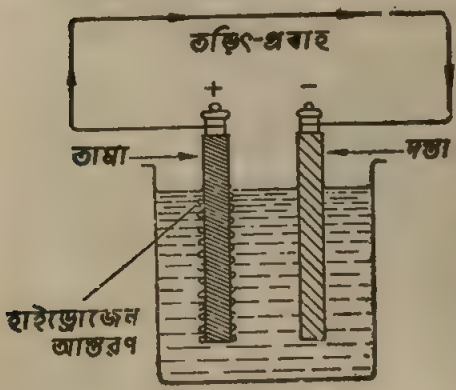
চিত্র 1.6



ইহাদিগকে স্থানীয় কোষ (local cell) বলে। বহির্বর্তনী (external circuit) খোলা থাকিলেও দস্তারপাতের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কোষগুলির মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকে (চিত্র 1.6)। ফলে দস্তার পাতের অপচয় ঘটে এবং কোষের মধ্যে অবস্থিত তাপের সৃষ্টি হয়। স্থানীয় ক্রিয়ার ফলে দস্তার পাতেও হাইড্রোজেন গ্যাস উদ্ভূত হইতে পারে। ইহাতে মূল প্রবাহ বাধাপ্রাপ্ত হয়। তাহা ছাড়া কোষটি অচিরেই কাজের অনুপযুক্ত হইয়া পড়ে। সরল কোষের এই দুটিকে স্থানীয় ক্রিয়া বলে।

স্থানীয় ক্রিয়ার প্রতিকার : স্থানীয় ক্রিয়ার প্রতিকারের জন্য কোষে বিশুদ্ধ দস্তা ব্যবহার করা যাইতে পারে। কিন্তু এইরূপ দস্তা খুব সুলভ নহে। তাহা ছাড়া, বিশুদ্ধ দস্তা দামী বলিয়া এরূপ দস্তা ব্যবহার করিলে কোষের দাম বাড়িয়া যায়। এই কারণে কোষে বিশুদ্ধ দস্তার পাত ব্যবহার না করিয়া পারদের প্রলেপ-লাগান দস্তার পাত ব্যবহৃত হয়। দস্তার পাতে পারদের প্রলেপ লাগান থাকিলে দস্তা পারদে দ্রবীভূত হইয়া প্রলেপের উপরে অবস্থান করে। কিন্তু দস্তার অন্য অপদ্রব্যগুলি পারদে দ্রবীভূত হয় না বলিয়া পারদ প্রলেপের নীচে থাকিয়া যায়। ইহার ফলে অপদ্রব্যগুলি আর্সিডের প্রত্যক্ষ সংস্পর্শে আসিতে না পারায় স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ হইয়া যায়। ইহাতে অকারণে দস্তার অপচয় হয় না।

(ii) ছদন : সরল কোষে প্রবাহ চলিবার সময়  $H^+$  আয়নগুলি তামার পাতে



চিত্র 1.7

আসিয়া হাইড্রোজেন অণুতে ( $H_2$ ) পরিণত হয়। এই হাইড্রোজেন গ্যাস বুদবুদের আকারে তামার পাতের পাশ দিয়া বাহির হইয়া যায়। কিন্তু নিরবচ্ছিন্নভাবে তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিলে তামার পাতের উপর যে-হারে হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হয় সেই হারে বাহির হইয়া যাইতে পারে না বলিয়া তামার পাতের গারে হাইড্রোজেন গ্যাসের একটি আন্তরণ তৈয়ারী হয়

(চিত্র 1.7)। ইহার ফলে দুইটি অসুবিধার সৃষ্টি হয় এবং তড়িৎ-প্রবাহ ক্রমিতে ক্রমিতে শেষ পর্যন্ত একেবারে বন্ধ হইয়া যায়।

(a) প্রথমত, তামার পাতের হাইড্রোজেন গ্যাসের এই আন্তরণ অপরিবাহী বলিয়া পুনরায় যখন  $H^+$  আয়ন তামার তারের দিকে আসে তখন উহারা তামার পাতের সংস্পর্শে আসিতে পারে না, ফলে উহারা তামার পাতে ধনাত্মক আধান-প্রদান করিতে সমর্থ হয় না। ফলে প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়।

(b) দ্বিতীয়ত, তামার পাতে অপরিবাহী এই গ্যাসীয় আন্তরণ থাকার ফলে ঠিক উহার পাশে দ্রবণের মধ্যে ধনাত্মক  $H^+$  আয়ন জমায়া যায়। এই ধনাত্মক আন্তরণ

নবাগত  $H^+$  আয়নকে বিকর্ষণ করে বলিমা কোষের মধ্যে তামা হইতে দস্তার পাতের দিকে ক্রিয়াশীল একটি তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয়। এই তড়িচ্চালক বল কোষের মূল তড়িচ্চালক বলের বিপরীতমুখী বলিমা ইহাকে বিরুদ্ধ তড়িচ্চালক বল (back e. m. f.) বলা হয়। এই বিরুদ্ধ তড়িচ্চালক বলকে ছদনজনিত তড়িচ্চালক বল (polarisation e.m.f.)-ও বলা হয়। এই বিরুদ্ধ তড়িচ্চালক বল উদ্ভূত হইবার ফলে কোষের কার্যকর তড়িচ্চালক বল হ্রাস পায় এবং প্রবাহমাগ্না কমিয়া যায়।

সরল কোষে প্রবাহ চলিতে থাকিলে ইহার ছদনজনিত ত্রুটির ফলে প্রবাহমাগ্না হ্রাস পাইতে থাকে এবং পরিশেষে একেবারে বন্ধ হইয়া যায়। সুতরাং, সরল ভোল্টীয় কোষ হইতে নিরবচ্ছিন্ন তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায় না। যে-সব ক্ষেত্রে কিছু সময় পর পর (intermittantly) কিছুক্ষণের জন্য তড়িৎ-প্রবাহ প্রয়োজন কেবল সেইসব ক্ষেত্রেই ভোল্টীয় কোষ ব্যবহার করা যাইতে পারে।

**ছদনের প্রতিকার :** তড়িৎ-কোষের ছদনজনিত ত্রুটি দূর করিবার তিনটি উপায় আছে ; যথা—

(i) **ম্যান্ট্রিক পদ্ধতি :** ছদন নিবারণ করিতে হইলে তামার পাতের যাহাতে হাইড্রোজেন গ্যাস জমা হইতে না পারে তাহার ব্যবস্থা করিতে হইবে। তামার পাতকে কোষ হইতে বাহির করিয়া ইহাতে সঞ্চিত হাইড্রোজেন গ্যাসকে রাশ দিয়া ঝাড়িয়া ফেলিয়া পুনরায় উহাকে ব্যবহার করা যাইতে পারে। কিন্তু এই পদ্ধতি সুবিধাজনক নয়।

(ii) **রাসায়নিক পদ্ধতি :** এই পদ্ধতিতে ছদন নিবারণ করিবার মূল নীতি নিম্নে আলোচিত হইল। কোষে উদ্দীপক তরল ছাড়া সহায়ক আর একটি দ্রব্য লইতে হইবে যাহা হাইড্রোজেনকে জ্বরিত করিয়া জলে পরিণত করিবে। এই দ্রব্যকে ছদন-নিবারণক (depolariser) বলে। লেকল্যান্স কোষে ছদন নিবারণক হিসাবে কঠিন ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড ব্যবহৃত হয় (1.10 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

(iii) **তড়িৎ-রাসায়নিক পদ্ধতি :** এই পদ্ধতিতে উদ্দীপক দ্রবণ ছাড়া এমন আর একটি সহায়ক দ্রবণ ব্যবহার করা হয় যে, প্রথম তরল-কর্তৃক উৎপন্ন  $H^+$ -আয়ন দ্বিতীয় তরলের সংস্পর্শে আসিলে কোষের ধনাত্মক পাত যে-ধাতুর দ্বারা গঠিত সেই ধাতুর অণু বা হাইড্রোজেন ভিন্ন অন্য পদার্থ উৎপন্ন করে। হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয় না বলিমা কোষ ছদনমুক্ত হয়। ড্যানিয়েল কোষে ছদন নিবারণের জন্য কপার সালফেট ( $CuSO_4$ )-দ্রবণ ব্যবহার করা হয়।

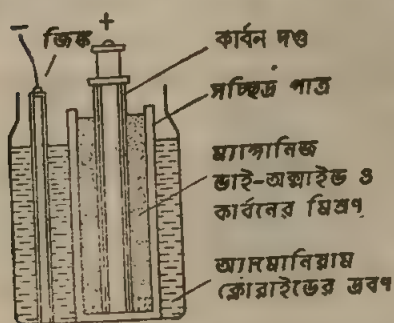
### 1.10 প্রাথমিক কোষ (Primary cells)

যে-সকল তড়িৎ-কোষ উহাদের উপাদানগুলির নিজস্ব রাসায়নিক ক্রিয়ায় উদ্ভূত শক্তির সাহায্যে তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করে সেই সকল কোষকে প্রাথমিক কোষ বলা হয়। প্রাথমিক কোষগুলিকে তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিবার উপযোগী করিয়া তোলার জন্য বাহ্যিক কোন উৎস হইতে পূর্বে আহিত করার প্রয়োজন হয় না। লেকল্যান্স

কোষ, ড্যানিয়েল কোষ ইত্যাদি প্রাথমিক কোষের উদাহরণ। প্রাথমিক কোষের উপাদানগুলি বায়িত হইয়া গেলে নূতন উপাদান লইয়া কোষগুলিকে পুনরায় ব্যবহারের উপযোগী করিতে হয়। একই উপাদান বার বার ব্যবহার করা যায় না।

মৌল কোষগুলিকে সাধারণত তিন ভাগে ভাগ করা যায়, যথা—(i) এক-তরল কোষ, (ii) নির্জল কোষ এবং (iii) দুই-তরল কোষ। নিম্নে এক-তরল কোষের দৃষ্টান্ত হিসাবে লেকল্যান্স কোষের এবং দুই-তরল কোষের দৃষ্টান্ত হিসাবে ড্যানিয়েল কোষের আলোচনা করা হইল।

(i) লেকল্যান্স কোষ (Leclanche's cell) : এই কোষে একটি বড় কাচের পাত্রে একটি সচ্ছিন্ন চীনা মাটির পাত্র থাকে। এই চীনা মাটির পাত্রে একটি কার্বন দণ্ড

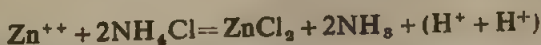


চিত্র 1.8

প্রবেশ করান থাকে। ইহা ধনাত্মক তড়িদ্বারের ন্যায় ক্রিয়া করে। এই দণ্ডের চারিপাশে কাঠ-কয়লার গুঁড়া এবং ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড ( $MnO_2$ ) রাখা হয়। ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড হ্রদন-নিবারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। বড় কাচের পাত্রটিতে থাকে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ( $NH_4Cl$ ) দ্রবণ। এই দ্রবণের মধ্যে চীনা মাটির পাত্রটি ডুবান থাকে। ইহা ছাড়া একটি প্রবাহের প্রলেপযুক্ত দস্তার দণ্ডও এই দ্রবণে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় রাখা হয়। দস্তার দণ্ডটি তড়িৎ-কোষের ঋণাত্মক তড়িদ্বার হিসাবে কাজ করে। চীনা মাটির পাত্রের মুখটি পিচ্ দিয়া বন্ধ করা থাকে। কার্বন-দণ্ড এবং দস্তা-দণ্ডের মাধ্যম সংযোজক ক্রু লাগান থাকে। 1.8 নং চিত্রে লেকল্যান্স কোষের একটি ছেদ দেখান হইয়াছে। লেকল্যান্স কোষের তড়িচ্চালকের মান 1.5 ভোল্ট।

কার্য-প্রণালী : দস্তা ও কার্বন-দণ্ডকে কোন পরিবাহী তার দ্বারা যুক্ত করিলে তড়িৎ-প্রবাহ বহির্বর্তনীতে কার্বন-দণ্ড হইতে দস্তার দণ্ডের দিকে যায় এবং কোষের মধ্য দিয়া দস্তার দণ্ড হইতে কার্বন-দণ্ডের দিকে প্রবাহিত হয়।

দস্তা ও অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ রাসায়নিক ক্রিয়া করিয়া ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত  $H^+$  আয়ন মুক্ত করে এবং দস্তা নিজে ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়ে। বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :



উৎপন্ন অ্যামোনিয়াম গ্যাস জলে দ্রবীভূত হয়। ঐ দ্রবণ যখন সম্পৃক্ত হইয়া পড়ে তখন এই অ্যামোনিয়াম গ্যাস বাহির হইয়া যায়। উৎপন্ন হাইড্রোজেন আয়নগুলি কার্বন

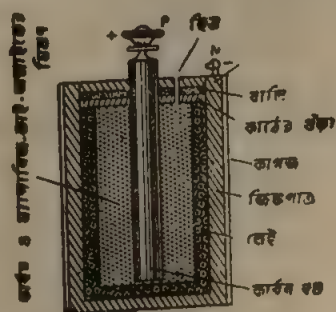
দণ্ডের দিকে অগ্রসর হইয়া সচ্ছিন্ন চীনা মাটির পাতে প্রবেশ করে এবং কার্বন-দণ্ডকে উহার ধনাত্মক আধান প্রদান করিয়া নিষ্ঠাভিৎ হাইড্রোজেন অণুতে পরিণত হয়। এই হাইড্রোজেন চীনা মাটির পাতে রক্ষিত ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের সহিত বিক্রিয়া করিয়া জলে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়াটির রাসায়নিক সমীকরণ নিম্নরূপ :



এক্ষেত্রে হাইড্রোজেন অণু কার্বন-দণ্ডে জমিতে পারে না বলিয়া এই কোষ ছদনজনিত দুটি হইতে মুক্ত।

**লেকল্যান্স কোষের ব্যবহারের অসুবিধা :** এই কোষের সর্বপ্রধান অসুবিধা হইল এই যে, ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড ও হাইড্রোজেনের রাসায়নিক বিক্রিয়ার দ্বিত খুবই কম। যে-হারে হাইড্রোজেন আয়ন কার্বন-দণ্ডের সান্নিধ্যে আসে সেই হারে উহা ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের সহিত বিক্রিয়া করিয়া জলে পরিণত হয় না। ফলে, কিছুক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিলে কার্বন-দণ্ডের উপর কিছুটা হাইড্রোজেন জমিয়া যায়। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, একটানা অনেকক্ষণ লেকল্যান্স কোষ ব্যবহার করিলে উহা ছদনগ্রস্ত হইয়া পড়ে। উপরি-উক্ত কারণে যে-সব ক্ষেত্রে বিরামযুক্ত (intermittant) তড়িৎ-প্রবাহ প্রয়োজন, কেবলমাত্র সেই সব ক্ষেত্রেই লেকল্যান্স কোষ ব্যবহৃত হয়। টেলিগ্রাফ, টেলিফোন, বৈদ্যুতিক ঘণ্টা ইত্যাদিতে এবং পরীক্ষাগারে পরীক্ষাদির প্রয়োজনে লেকল্যান্স কোষ ব্যবহৃত হয়।

(ii) **নির্জল কোষ : (Dry cell) :** ইহার কার্যনীতি প্রায় লেকল্যান্স কোষের ন্যায়। শুধু লেকল্যান্স কোষে যেখানে তরল ব্যবহৃত হয়, নির্জল কোষে সেখানে ব্যবহৃত হয় একটি লেই (paste)। এইজন্যই ইহাকে নির্জল কোষ (চিত্র 1.9) বলা হয়। লেকল্যান্স কোষের সহিত ইহার প্রধান পার্থক্য এই যে, নির্জল কোষের প্রাচীর দস্তার তৈয়ারী। এই প্রাচীরই কোষের ঋণাত্মক তড়িদ্বারের কাজ করে। ধনাত্মক তড়িদ্বার হিসাবে এখানেও একটি কার্বন-দণ্ড ব্যবহার করা হয়। কার্বন-দণ্ডটি থাকে দস্তার চোঙাকৃতি আবরণের মাঝখানে। এই দণ্ডের চতুর্দিকে কার্বন গুড়া এবং ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের মিশ্রণ রাখা হয়। এই মিশ্রণ একটি কাপড়ের বা সচ্ছিন্ন কাগজের খাজিতে ভর্তি করা থাকে। এই খাজ ও দস্তার চোঙের মধ্যবর্তী স্থানে একটি লেই থাকে। এই লেই কাঠের গুড়া, ময়দা, প্লাস্টার অফ প্যারিস, অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড (NH<sub>4</sub>Cl) ও জল দ্বারা তৈয়ারী। এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, এই কোষ নামে 'নির্জল' হইলেও সম্পূর্ণ শূন্য অবস্থায় ইহা ক্রিয়া করিতে পারে না। কোষের মুখ বন্ধ



চিত্র 1.9



রাখিবার জন্য উহাতে তিনটি অপরিবাহী স্তর থাকে। তলা হইতে প্রথম স্তর কাঠের গুঁড়ার, পরবর্তী স্তর বালির এবং সর্বাপেক্ষা উপরের স্তর পিচ (pitch) বা মোমের। ইহাদের জন্য কোষের জল উবিয়া যাইতে পারে না। তাহা ছাড়া, ইহার কোষের মেঝুদ্বয়কে পরস্পর হইতে অভিন্ন রাখা যায়। গ্যাস বাহির হইবার জন্য উক্ত স্তরগুলির মধ্য দিয়া একটি ছিদ্র থাকে। নির্জল কোষ মোটা কাগজে আবৃত অবস্থায় পাওয়া যায়।

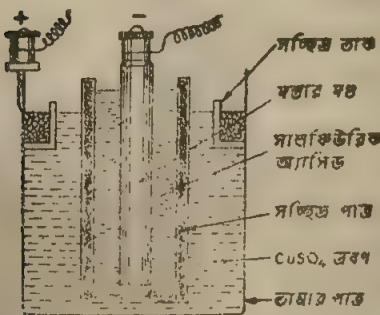
নির্জল কোষের ব্যবহার : ইহাতে কোন তরল থাকে না বলিয়া ইহাকে বহন করা সুবিধাজনক। ইহাকে আকারে ছোট এবং হালকা করিয়া নির্মাণ করা যায়। নির্জল কোষ নানা ব্যবহারিক প্রয়োজন মিটাইতেছে। রেডিও, বৈদ্যুতিক টর্চ, সাইকেলের আলো ইত্যাদিতে এই কোষ ব্যবহৃত হয়।

● একটি টর্চে একটানা জ্বলাইয়া রাখিলে উহার আলোর তীব্রতা কমিয়া যাইতে দেখা যায়। টর্চটি নিভাইয়া কিছুক্ষণ পর আবার উহাকে জ্বলাইলে দেখা যায় উহার তীব্রতা আগের মত হইয়াছে। ইহার কারণ কী?

টর্চে নির্জল কোষ ব্যবহৃত হয়। এই কোষে হৃদন-নিবারণ হিসাবে ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড ব্যবহার করা হয়। কিন্তু ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড এবং উৎপন্ন হাইড্রোজেনের রাসায়নিক বিক্রিয়ার দ্রুতি খুব কম। কাজেই টর্চ জ্বলাইলে নির্জল কোষে যে-হারে হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয় সে-হারে উহা ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইডের সহিত বিক্রিয়া করে না। কাজেই, একটানা কিছুক্ষণ টর্চ জ্বলাইয়া রাখিলে নির্জল কোষের কার্বন দণ্ডের উপর হাইড্রোজেন গ্যাসের আন্তরণ পড়ে। অর্থাৎ, নির্জল কোষ হৃদনগ্রস্ত হইয়া পড়ে। ইহাতে বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ কমিয়া যায় এবং টর্চের ওজ্জ্বল্য হ্রাস পায়।

কিছুক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ রাখিলে হৃদনগ্রস্ত নির্জল কোষের কার্বন-দণ্ডের উপর উৎপন্ন হাইড্রোজেন-স্তরটি অপসৃত হয়। এইজন্য কিছুক্ষণ নিভাইয়া রাখিয়া আবার জ্বলাইলে টর্চটির ওজ্জ্বল্য আগের মত হইতে দেখা যায়।

(iii) ড্যানিয়েল কোষ (Daniell cell) : ইহা একটি দুই তরল-বিশিষ্ট তড়িৎ-



চিত্র 1.10

কোষ (চিত্র 1.10)। এই কোষে একটি তামার পাত্রে সম্পৃক্ত কপার সালফেট দ্রবণ লওয়া হয়। এই দ্রবণকে সর্বদা সম্পৃক্ত রাখিবার জন্য পাত্রের উপরের দিকে একটি সজ্জিত তাত (shelf)-এ কিছু পরিমাণ কপার সালফেট কেলাস রাখা হয়। এই তাতের কিছু অংশ  $\text{CuSO}_4$  দ্রবণে নিমজ্জিত থাকে। এই দ্রবণে একটি সজ্জিত চীনামাটির পাত্র ডুবান থাকে। এই পাত্রে লঘু

সালফিউরিক অ্যাসিড লইয়া পারদের প্রলেপযুক্ত একটি দস্তার দণ্ডকে অ্যাসিড দ্রবণে

আংশিকভাবে ডুবাইয়া রাখা হয়। এক্ষেত্রে দস্তার দণ্ডটি খণাস্বক তড়িদ্বারের ন্যায় ক্রিয়া করে। দস্তার দণ্ডের উপরে এবং তামার পাতের দেওয়ালে একটি বন্ধনী কু লাগান থাকে। এই দুইটি কু-এর সহিত বহির্বর্তনী যুক্ত করিতে হয়।

বহির্বর্তনী যুক্ত থাকিলে উহার মধ্য দিয়া দস্তা হইতে ইলেকট্রন তামার দিকে যায়। দস্তার দণ্ড হইতে  $Zn^{++}$  আয়ন আ্যাসিডে আসে। প্রতিটি  $Zn^{++}$  আয়ন সালফিউরিক আ্যাসিড হইতে দুইটি করিয়া হাইড্রোজেন আয়ন ( $H^+$ ) উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :



এই হাইড্রোজেন আয়ন সচ্ছিন্ন চীনামাটির পাতের মধ্য দিয়া  $CuSO_4$  দ্রবণে যায় এবং উহার সহিত বিক্রিয়া করিয়া  $Cu^{++}$  আয়ন উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াটি নিম্নরূপে লেখা যায়,



এই তামার আয়নের আধান দস্তার দণ্ড হইতে আগত ইলেকট্রন দ্বারা প্রশমিত হয়। ইহাতে তামার আয়ন তামার পরমাণুতে রূপান্তরিত হইয়া তামার দেওয়ালে জমা হয়। এই কোষের ধনাত্মক তড়িদ্বারে হাইড্রোজেনের পরিবর্তে তামা সঞ্চিত হয় বলিয়া এক্ষেত্রে হ্রদনের সম্ভাবনা থাকে না। কাজেই যে-সকল ক্ষেত্রে একটানা বহুক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান প্রয়োজন সেখানে ড্যানিয়েল কোষ ব্যবহৃত হয়। এই কোষের তড়িচ্চালক বল 1.08 ভোল্ট।

### 1.11 পৌণ কোষ (Secondary cell) বা সঞ্চরক কোষ (Storage cell)

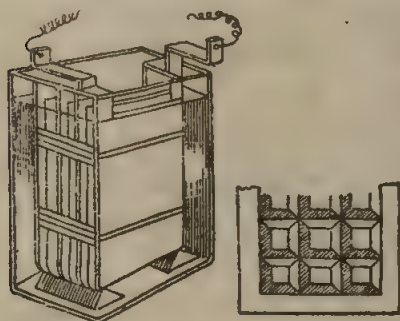
প্রাথমিক বা মুখ্য তড়িৎ-কোষগুলিতে রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন শক্তি হইতে তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়। এই সকল কোষের রাসায়নিক উপাদান নিঃশেষিত হইলে উহার আর তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিতে পারে না। নিঃশেষিত প্রাথমিক কোষকে পূর্বাবস্থায় ফিরাইয়া আনিবার কোন উপায় নাই। পৌণ কোষ নামক অপর এক জাতীয় কোষ আছে। এই কোষগুলিতেও রাসায়নিক শক্তির বিনিময়ে তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়। তবে, মুখ্য কোষের সহিত ইহাদের পার্থক্য এই যে, এই কোষগুলির তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করিবার ক্ষমতা নিঃশেষিত হইলে সহজেই ইহারাদিকে পূর্বাবস্থায় ফিরাইয়া আনা যায় এবং বার বার উহা হইতে তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়। এই কোষগুলিকে পৌণ কোষ বলা হয়।

সক্রিয় অবস্থায় কোষটি যে-দিকে তড়িৎ-প্রবাহ দেয় কোন তড়িৎ-উৎস (যেমন, ডায়নামো) হইতে নিঃশেষিত কোষের মধ্য দিয়া উহার বিপরীত দিকে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হয়। ইহাকে কোষের আহিতকরণ (charging) বলা হয়। আহিতকরণের সময় কোষে যে-শক্তি সঞ্চারিত হয় তাহাই পরে তড়িৎ-শক্তির যোগান দেয় বলিয়া ইহাকে সঞ্চরক (accumulator) বা সঞ্চরক কোষ (storage cell) বলা হয়।

● **সঞ্চয়ক কোষ কী সঞ্চিত করে ?** সঞ্চয়ক কোষকে আহিতকরণের সময় যে-বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যয়িত হয় সেই শক্তি রাসায়নিক শক্তিরূপে কোষে সঞ্চিত থাকে। এই রাসায়নিক শক্তিই পুনরায় রূপান্তরিত হইয়া বৈদ্যুতিক শক্তি সরবরাহ করে।

নিম্নে আমরা যে-কোষ লইয়া আলোচনা করিব তাহাকে বলা হয় সীসা সঞ্চয়ক কোষ (lead accumulator)। বিজ্ঞানী প্লান্টে (Planté) এই কোষ উদ্ভাবন করেন।

এই কোষে একটি কাচের পাত্রে থাকে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণ। ইহাতে যে-ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িদ্বার ডুবান থাকে উহারা উভয়েই একাধিক পাত দ্বারা গঠিত (চিত্র 1.11)। কোষটি যখন তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিবার উপযুক্ত অবস্থায় থাকে তখন সালফিউরিক অ্যাসিডে ডুবান দুইটি প্লেটের একটি লেড পার-অক্সাইড ( $PbO_2$ ) এবং অপরটি লেড বা সীসার আকারে থাকে। এই প্লেটগুলি নিরেট নয়, ইহারা



(a)

(b)

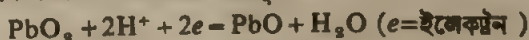
চিত্র 1.11

ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ছিদ্রাবিশিষ্ট জালি (grid) দ্বারা গঠিত [চিত্র 1.11 (b)]। এই কোষে লেড পেরঅক্সাইডের পাতগুলি ধনাত্মক এবং লেড-এর পাতগুলি ঋণাত্মক।

যখন গৌণ কোষ তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিতেছে তখন ইহা 'ডি-সচার্জড' হইতেছে এইরূপ বলা হয়। বিহর্বর্তনীতে লেড পেরঅক্সাইডের পাত হইতে সীসার পাতের দিকে তড়িৎ-প্রবাহ চলে। এই সময় কোষের মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটে।

ধনাত্মক তড়িদ্বারে যে-সকল

হাইড্রোজেন আয়ন ( $H^+$ ) আসে উহারা ঋণাত্মক তড়িদ্বারে হইতে আগত ইলেকট্রন-কর্তৃক প্রশমিত হয়। ইহাতে যে-হাইড্রোজেন পরমাণু গঠিত হয় তাহা  $PbO_2$ -কে  $PbO$ -এ রূপান্তরিত করে। এই  $PbO$  সালফিউরিক অ্যাসিডের সহিত বিক্রিয়া করিয়া  $PbSO_4$  উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াটি এইরূপ :



কাজেই, মোট বিক্রিয়াটি হইল  $PbO_2 + 2H^+ + 2e + H_2SO_4 = PbSO_4 + 2H_2O$

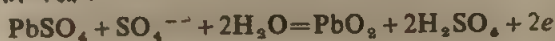
ঋণাত্মক তড়িদ্বারে  $Pb$ -অণুর উপর  $SO_4^{--}$  আয়নের ক্রিয়াম দুইটি ইলেকট্রন মুক্ত হয়। এই বিক্রিয়ার সমীকরণ হইল :



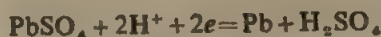
দেখা যাইতেছে যে, তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিলে উভর তড়িদ্বারেই লেড সালফেট উৎপন্ন হয়।

আহিত করিবার সময় তড়িৎ-প্রবাহের ক্রিয়াম ধনাত্মক প্লেটে পুনরায়  $PbO_2$  এবং

ঋণাত্মক প্রেটে পুনরায় Pb উৎপন্ন হয়। আমরা দেখিয়াছি যে, সম্পূর্ণ ডিসচার্জড অবস্থায় ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় প্রেটেই লেড সালফেট তৈয়ারী হয়। আহিতকারী তড়িৎ-প্রবাহের ফলে  $\text{SO}_4^{--}$  আয়ন ধনাত্মক প্রেটে  $\text{PbSO}_4$ -এর সহিত বিক্রিয়া করিয়া  $\text{PbO}_2$  উৎপন্ন করে।



অনুরূপভাবে,  $\text{H}^+$  আয়ন ঋণাত্মক প্রেটে  $\text{PbSO}_4$ -এর সহিত বিক্রিয়া করিয়া Pb উৎপন্ন করে।



যখন গৌণ কোষ সম্পূর্ণ আহিত অবস্থায় থাকে তখন ইহার তড়িচ্চালক বলের মান 2.1 ভোল্ট। এই সময় সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্বের মান 1.25। কিছুকাল তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিলেই ইহার তড়িচ্চালক বলের মান নামিয়া গিয়া 2.0 ভোল্ট হয় এবং তড়িচ্চালক বল দীর্ঘদিন এই মানে স্থির থাকে। কোষ যখন প্রায় সম্পূর্ণ ‘ডিসচার্জড’ হইয়া পড়ে তখন ইহার তড়িচ্চালক বল দ্রুত নামিয়া যাইতে থাকে। ডিসচার্জের সহিত অ্যাসিড দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্বও কমিয়া যাইতে থাকে। কোষ কর্মক্ষম আছে কিনা অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিয়াও তাহা বুঝা যায়। কোষটি সম্পূর্ণ ‘ডিসচার্জড’ হইয়া গেলে অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.18-এ নামিয়া আসে। এই সময় কোষটিকে পুনরায় আহিত করিয়া লইতে হয়।

বাস্পীভবনের ফলে কোষের অ্যাসিডের জলীয় ভাগ কমিয়া গেলে ইহার আপেক্ষিক গুরুত্ব বাড়িয়া যায়। এইজন্য পাত্রের গায়ে একটি দাগ দেওয়া থাকে। ইহাকে ‘অ্যাসিড লেভেল’ (acid level) বলা হয়। কোষের অ্যাসিডের লেভেল ঐ দাগের নিচে নামিয়া গেলে কিছুটা পাতিত জল ঢালিয়া পুনরায় উহার লেভেল ঐ দাগ পর্যন্ত আনা হয়।

## 1.12 প্রমাণ কোষ (Standard cell)

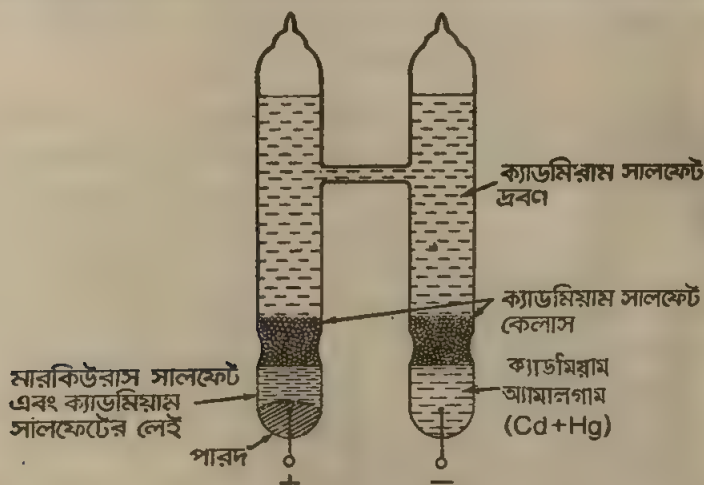
আমরা এ পর্যন্ত যে-কোষগুলি সম্পর্কে আলোচনা করিয়াছি উহাদের তড়িচ্চালক বলের মান স্থির থাকে না। তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিতে থাকিলে ছদন, উষ্ণতার পরিবর্তন ইত্যাদি কারণে তড়িচ্চালক বলের পরিবর্তন হইতে থাকে। তড়িৎ-বিভব, তড়িচ্চালক বল এবং তড়িৎ-প্রবাহের সূক্ষ্ম পরিমাপের ক্ষেত্রে এইরূপ তড়িৎ-কোষের প্রয়োজন হয় যাহার তড়িচ্চালক বল নির্দিষ্ট মানে স্থির থাকে। এই জাতীয় তড়িৎ-কোষকে প্রমাণ কোষ (Standard cell) বলা হয়। প্রমাণ কোষ তড়িচ্চালক বলের মানক হিসাবে ক্রিয়া করে। এই তড়িৎ-কোষকে কখনো তড়িৎ-প্রবাহের উৎস রূপে ব্যবহার করা হয় না।

অর্থাৎ, যে-কোষের তড়িচ্চালক বল নির্দিষ্ট মানে স্থির থাকে এবং যাহাকে তড়িচ্চালক বলের মানক হিসাবে ব্যবহার করা হয় তাহাকে প্রমাণ কোষ বলা হয়।



অ্যান্টিটর, ভোল্টমিটার ইত্যাদি যন্ত্রের স্কেলের অংশাঙ্কনের উদ্দেশ্যে যেখানে স্থির তড়িচ্চালক বলসম্পন্ন কোষ প্রয়োজন হয় সেখানে প্রমাণ কোষ ব্যবহার করিতে হয়।

সাধারণ কাজের জন্য ড্যানিয়েল কোষকে প্রমাণ কোষ হিসাবে ব্যবহার করা গেলেও সূক্ষ্ম পরিমাপে এই কোষ ব্যবহার করা যায় না। প্রমাণ কোষ হিসাবে ওয়েস্টন-ক্যাডমিয়াম কোষ (Weston Cadmium cell) বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।



চিত্র 1.12

1.12 নং চিত্রে এই কোষের বিভিন্ন অংশ দেখান হইয়াছে। এই কোষের কাচের আবরণটির আকার ইংরাজি H-অক্ষরের মত। ইহার দুই বাহুর নীচে প্লাটিনাম তার সীল করা থাকে। এই কোষের এক বাহুর তলার বিশুদ্ধ পারদ থাকে। ইহা কোষের ধনাত্মক তড়িদ্বারের মত ক্রিয়া করে। কোষটির অন্য বাহুর তলায় থাকে ক্যাডমিয়াম-আমালগাম (অর্থাৎ, ক্যাডমিয়াম এবং পারদের মিশ্রণ)। ইহা কোষের ঋণাত্মক তড়িদ্বারের মত ক্রিয়া করে। ধনাত্মক তড়িদ্বারের পারদের উপরে মার্কিউরাস সালফেট এবং ক্যাডমিয়াম সালফেটের একটি লেই থাকে। এই লেই-এর উপর এবং অন্য বাহুর ক্যাডমিয়াম-আমালগামের উপর ক্যাডমিয়াম সালফেটের কেলাস রাখা হয়। কোষের বাকি অংশের কিছুটা ক্যালসিয়াম সালফেটের সংপৃক্ত দ্রবণে ভরা থাকে। অতিরিক্ত ক্যালসিয়াম সালফেটের কেলাস কঠিন অবস্থায় এই দ্রবণের সংস্পর্শে থাকে বলিয়া দ্রবণের ঘনত্ব অপরিবর্তিত থাকে।

20°C উষ্ণতায় এই কোষের তড়িচ্চালক বল 1.01830 ভোল্ট। উষ্ণতা বাড়িলে ইহার তড়িচ্চালক বল হ্রাস পায়। 0°C উষ্ণতায় এই কোষের তড়িচ্চালক বল

$$E(\theta) = 1.01830 - 4.06 \times 10^{-5} (\theta - 20) \text{ ভোল্ট}$$

### 1.13 তড়িৎ-কোষ সম্বন্ধে কয়েকটি গুণাবল্য

(i) তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল উহার আকার (size)-এর উপর নির্ভর করে না, কোষের সক্রিয় উপাদানগুলির উপর নির্ভর করে। একই উপাদানের দ্বারা গঠিত বিভিন্ন আকারের কোষের তড়িচ্চালক বল অভিন্ন।

(ii) কোষের তড়িদ্বার দুইটি যত কাছাকাছি থাকে এবং উহারা যত বড় হয় কোষটির আভ্যন্তরীণ রোধ তত কম হয়। এইজন্য সঞ্চারক কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের মান কম।

(iii) কোন তড়িৎ-কোষ মোট কী পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিতে সক্ষম তাহা নির্ভর করে উহার উপাদানের পরিমাণের উপর। যে-কোষে সক্রিয় পদার্থগুলির পরিমাণ বেশি সেই তড়িৎ-কোষ হইতে বেশি তড়িৎ-শক্তি পাওয়া যাইবে।

### 1.14 তড়িৎ-কোষের আধান-সরবরাহের সামর্থ্য (Capacity of an electric cell)

কোন তড়িৎ-কোষের তড়িৎ-প্রবাহ বা তড়িদাধান সরবরাহ করিবার সামর্থ্যকে 'অ্যাম্পিয়ার-ঘণ্টা' (ampere-hour) এককে প্রকাশ করা হয়। কোন তড়িৎ-কোষ তড়িৎ-প্রবাহে অক্ষম হইবার পূর্ব পর্যন্ত যে-পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ যে-সময় ধরিয়া সরবরাহ করিতে পারে ঐ তড়িৎ-প্রবাহ (অ্যাম্পিয়ারে প্রকাশিত) এবং ঐ সময়ের (ঘণ্টায় প্রকাশিত) গুণফলকে ঐ তড়িৎ-কোষের অ্যাম্পিয়ার-ঘণ্টা বলা হয়। উদাহরণ-স্বরূপ, কোন তড়িৎ-কোষ যদি মোট 50 ঘণ্টা ধরিয়া 1.2 'অ্যাম্পিয়ার' তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করে তবে উহার আধান-সরবরাহের সামর্থ্য

$$= 1.2 \text{ অ্যাম্পিয়ার} \times 50 \text{ ঘণ্টা}$$

$$= 60 \text{ অ্যাম্পিয়ার-ঘণ্টা}$$

অ্যাম্পিয়ার-ঘণ্টা প্রকৃতপক্ষে তড়িদাধানের একক। এ-প্রসঙ্গে কুলম্ব এবং অ্যাম্পিয়ার-ঘণ্টার সম্পর্কটি স্মর্তব্য।

আমরা জানি যে, 1 কুলম্ব = 1 অ্যাম্পিয়ার  $\times$  1 সেকেন্ড

কাজেই, 1 অ্যাম্পিয়ার-ঘণ্টা = 1 অ্যাম্পিয়ার  $\times$  1 ঘণ্টা

$$= 1 \text{ অ্যাম্পিয়ার} \times 60 \times 60 \text{ সেকেন্ড}$$

$$= 3600 \text{ অ্যাম্পিয়ার-সেকেন্ড বা কুলম্ব}$$

$$\therefore \text{অ্যাম্পিয়ার-ঘণ্টা} = 3600 \text{ কুলম্ব}$$

কাজেই, যে-তড়িৎ-কোষের আধান-সরবরাহের সামর্থ্য 60 অ্যাম্পিয়ার-ঘণ্টা সেই তড়িৎ-কোষটি মোট  $60 \times 3600$  কুলম্ব বা 21600 কুলম্ব তড়িদাধান সরবরাহ করিতে পারে

### 1.15 প্রাথমিক কোষ এবং গৌণ কোষের পার্থক্য

1.11 নং অনুচ্ছেদে প্রাথমিক বা মুখ্য তড়িৎ-কোষের সাহিত গৌণ তড়িৎ-কোষের পার্থক্যের ইঙ্গিত দেওয়া হইয়াছে। নিম্নে এই দুই জাতীয় তড়িৎ-কোষের প্রধান পার্থক্যগুলি উল্লেখ করা হইয়াছে।

(i) প্রাথমিক কোষগুলিতে উহার উপাদানগুলির রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন হয়। এই সকল কোষের উপাদান নিঃশেষিত হইয়া গেলে এই কোষগুলিকে পুনরায় ব্যবহারের উপযোগী করা যায় না। এইজন্য প্রাথমিক কোষ-গুলিকে অপ্রত্যাবর্তক কোষ (irreversible cell) বলা হয়।

গৌণ কোষগুলিতেও উহার উপাদানের রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে তড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন হয়। তবে পার্থক্য এই যে, এই কোষগুলির আধান-সরবরাহ ক্ষমতা বিলুপ্ত হইলে উহাদের মধ্য দিয়া বিপরীতমুখী তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া ইহাদিগকে পুনরায় আধান-সরবরাহের উপযুক্ত করা যায়। ইহার কারণ এই যে, গৌণ-কোষগুলি ডিসচার্জড (discharged) হইয়া গেলে বিপরীতমুখী তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া উহার উপাদানগুলির বিপরীতমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটান যায়। ইহার ফলে কোষের তড়িৎদ্বারগুলি এবং উপাদানগুলি পুনরায় উহাদের প্রারম্ভিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে। এইজন্য গৌণ কোষগুলিকে প্রত্যাবর্তক কোষ (reversible cell) বলা হয়।

(ii) প্রাথমিক কোষগুলি একবার নিঃশেষিত হইলে পুনরায় ব্যবহার করা যায় না বলিয়া এই কোষের ব্যবহার ব্যয়বহুল। এইজন্য শিল্পক্ষেত্রে গৌণ কোষই বেশি ব্যবহৃত হয়। একই গৌণ কোষ 'চার্জিং' করিয়া বার বার ব্যবহার করা যায় বলিয়া ইহা অপেক্ষাকৃত কম ব্যয়সাধ্য।

(iii) প্রাথমিক কোষগুলির আভ্যন্তরীণ রোধ বেশি বলিয়া এই কোষ উচ্চ মানের তড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন করিতে পারে না। গৌণ কোষগুলির আভ্যন্তরীণ রোধ খুব কম বলিয়া উচ্চ মানের তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করিতে পারে।

### 1.16 তড়িৎ-প্রবাহের ক্রিয়া (Effects of electric current)

(i) কোন বর্তনীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ গেলে প্রধানত তিনটি ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়। যথা—(i) তাপীয় ক্রিয়া, (ii) চৌম্বক ক্রিয়া এবং (iii) রাসায়নিক ক্রিয়া।

(i) তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া (Heating effect of current) : কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ গেলে উহাতে তাপ উৎপন্ন হয়। এই প্রক্রিয়াকে তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া বলা হয়। শিল্পক্ষেত্রে এবং দৈনন্দিন জীবনে তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়ার ব্যাপক ব্যবহার আছে। বৈদ্যুতিক হিটার, বৈদ্যুতিক বাতি ইত্যাদির কার্যনীতি তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়ার উপর নির্ভর করে। চতুর্থ পরিচ্ছেদে তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

(ii) তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া (Magnetic effect of current) : কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইলে উহার চারিপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। এই ঘটনাকে তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলা হয়। তড়িৎ-প্রবাহের এই ক্রিয়ার নানান ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে। যষ্ঠ পরিচ্ছেদে তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া সম্পর্কে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

(iii) তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া (Chemical effect of current) : তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার অণুগুলি বিযুক্ত হয়। এই ঘটনাকে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া বলা হয়। শিল্পক্ষেত্রে নানান কাজে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক প্রক্রিয়ার ব্যবহার আছে। ধাতু নিষ্কাশন, ইলেকট্রোপ্লেটিং, ইলেকট্রোটাইপিং ইত্যাদি তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়ার উপর নির্ভর করে। পঞ্চম পরিচ্ছেদে এ সম্পর্কে বিশদ আলোচনা করা হইয়াছে।

### সার-সংক্ষেপ

বে-ব্যবস্থায় রাসায়নিক শক্তি হইতে তড়িৎশক্তি উৎপন্ন হয় তাহাকে তড়িৎ কোষ বলা হয়। একটি কাচের পাত্রে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড লইয়া উহাতে একটি তামার এবং একটি দস্তার পাত ডুবাইলে বে-কোষ উৎপন্ন হয় তাহাকে সরল ভোল্টীয় কোষ বলা হয়। সরল ভোল্টীয় কোষে দুইটি তুটি লক্ষ্য করা যায় : (i) স্থানীয় ক্রিয়া এবং (ii) ছদন। দস্তার দণ্ডে অপদ্রব্য থাকিলে ঐ দস্তার ছোট ছোট স্থানীয় কোষ উৎপন্ন হয়। ফলে তড়িৎ-কোষটি বাহ্যিক বর্তনীর সহিত যুক্ত না থাকিলেও কোষের দস্তা এবং অ্যাসিডের ক্ষয় হইতে থাকে। ইহাতে তড়িৎ-কোষের আধান সরবরাহ ক্ষমতার অপচয় ঘটে। সরল ভোল্টীয় কোষের এই তুটিকে স্থানীয় ক্রিয়া বলা হয়। দস্তার দণ্ডের উপর পারদের প্রলেপ দিয়া এই তুটি দূর করা যায়।

ভোল্টীয় কোষ তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিতে থাকিলে তামার দণ্ডের উপর হাইড্রোজেন আম্লনের আন্তরণ পড়িয়া যায় এবং ইহাতে কোষে বিপরীতমুখী তড়িচ্চালক বল (back e.m.f.)-এর উদ্ভব হয়। এই তুটিকে ছদন বলা হয়। ছদন দূর করিবার জন্য সাধারণত তিনটি পদ্ধতি ব্যবহৃত হয় : (i) বার্ষিক পদ্ধতি, (ii) রাসায়নিক পদ্ধতি, (iii) তড়িৎ-রাসায়নিক পদ্ধতি।

লেকল্যান্স কোষে ছদন-নিবারক হিসাবে ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড ব্যবহৃত হয়। ড্যানিয়েল কোষের ধনাত্মক তড়িদ্বারে হাইড্রোজেনের পরিবর্তে তামা সংগঠিত হয়, ফলে ছদনের সম্ভাবনা থাকে না। ভোল্টীয় কোষ ড্যানিয়েল কোষ এবং লেকল্যান্স কোষ প্রাথমিক বা মুখ্য কোষ। সঞ্চারক কোষগুলি নির্জীব হইয়া গেলে বিপরীতমুখী তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া ইহাদিগকে পুনর্ব্যবহারের উপযোগী করিয়া লওয়া যায় বলিয়া ইহাদিগকে প্রত্যাবর্তক কোষ বলা হয়। ইহাদিগকে গৌণ কোষও বলা হয়।



## প্রশ্নাবলী 1

## হুম্বোল্ডের প্রশ্নাবলী

1. ভোল্টীয় কোষের তড়িচ্চালক বলের মান কি কোষের লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের পরিমাণ এবং দস্তা ও তামার দণ্ডের আকারের উপর নির্ভর করে ?

2. কার্যকরী তরলের পরিমাণ এবং তড়িদ্বারগুলির আকার বৃদ্ধি করিয়া কোন কোষের তড়িচ্চালক বলের মান বৃদ্ধি করিতে পারিবে কি ? যুক্তিসহ উত্তর দাও ।

3. লেকল্যান্স কোষের দস্তার পাতটিতে পারদের প্রলেপ দেওয়া থাকে কেন ?

4. একটি টর্কে একটানা দীর্ঘ সময় জ্বালাইয়া রাখিলে উহার ঔজ্জ্বল্য হ্রাস পাইতে দেখা যায় । টর্কটি নিভাইয়া কিছুক্ষণ পর আবার জ্বালাইলে উহার ঔজ্জ্বল্য পুনরায় ফিরিয়া আসে । ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর । [ জয়েন্ট এট্রাস, 1980 ]

5. সরল ভোল্টীয় কোষের তড়িদ্বার দুইটির সহিত বৈদ্যুতিক ঘণ্টার দুই প্রান্ত যুক্ত করিলে ঘণ্টা বাজিতে থাকে, কিন্তু ধীরে ধীরে ঘণ্টাধ্বনি ক্ষীণ হইতে ক্ষীণতর হইতে থাকে এবং একসময় ইহা একেবারে বন্ধ হইয়া যায় । ইহার কারণ কী ?

6. একটি প্রাথমিক কোষ এবং একটি সঞ্চয়ক কোষের তড়িচ্চালক বল সমান । কোন কোষটি অপেক্ষাকৃত বেশি তড়িৎ-প্রবাহ দিতে সক্ষম ?

[ আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1977 ]

[ সূত্রকত : সঞ্চয়ক কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষাকৃত কম বলিয়া এই কোষ হইতেই বেশি তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যাইবে । ]

7. তড়িৎ-কোষের তড়িদ্বারগুলি আকারে বড় হইলে এবং কাছাকাছি রাখিলে কী সুবিধা হয় ?

8. ড্যানিয়েল কোষে কপার সালফেটের ভূমিকা কী ? ব্যাখ্যা কর ।

9. 'তড়িচ্চালক বল কোনভাবেই বলের সহিত সম্পর্কযুক্ত নয় ।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর ।

10. প্রমাণ কোষকে তড়িৎ-প্রবাহের উৎস হিসাবে ব্যবহার করা হয় না । ইহার কারণ কী ?

11. কোন পাত্রে রক্ষিত লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণে একটি দস্তার পাত এবং একটি তামার পাত ডুবান হইল । এই পাত দুইটিকে একটি বৈদ্যুতিক ঘণ্টার দুই প্রান্তে সূত্র করা হইল । কিছুক্ষণ পর ঘণ্টার আওয়াজ খুব কমিয়া গেল । কেন এইরূপ হইল ? ইহার কারণ উল্লেখ কর ।

12. 'বিরতিযুক্ত তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করিবার জন্য লেকল্যান্স কোষ ব্যবহার করা যায়, কিন্তু একটানা তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবার জন্য ইহা তেমন সুবিধাজনক নয় ।' ব্যাখ্যা কর ।

## নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

13. কোন বর্তনীতে একটি স্থির তড়িৎ-প্রবাহ বজায় রাখিতে হইলে কী কী শর্ত পালিত হওয়া প্রয়োজন ?

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1965 ]

14. সালফিউরিক অ্যাসিডে দস্তা ও তামা ডুবাইয়া গঠিত সরল ভোল্টীয় কোষ বর্ণনা কর এবং তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবার সময় ইহাতে কী কী প্রক্রিয়া ঘটে আলোচনা কর । ব্যবহারিক ক্ষেত্রে এরূপ কোষ অনুপযুক্ত কেন ? যুক্তিসহ আলোচনা কর ।

[ আই. এসসি. (কলিকাতা), 1957 ]

15. (a) লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে নিমজ্জিত তামা ও দস্তার ইলেকট্রোডের মধ্যে কীভাবে বিভব-প্রভেদের সৃষ্টি হয় ?

(b) সরল ভোল্টেজ কোষের দুটিগুলি কী ? চিত্রসহ ড্যানিয়েল কোষের গঠন ও ক্রিয়ার বর্ণনা দাও। এই কোষে কীভাবে ছদন নিবারণিত হয় ?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

16. সরল ভোল্টেজ কোষের দুটিগুলি বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর। তড়িৎ-কোষের ক্ষেত্রে 'তড়িচ্চালক বল' এবং 'বিভব-বৈষম্য' বলিতে কী বুঝ ?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ); 1960]

17. (a) সরল ভোল্টেজ কোষে স্থানীয় ক্রিয়া ও ছদন বলিতে কী বুঝায় ?

(b) একটি লেকল্যান্স কোষের গঠন ও ক্রিয়া বর্ণনা কর।

(c) তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল ও আভ্যন্তরীণ রোধ কী ?

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982]

18. (a) সরল ভোল্টেজ কোষের দুটিগুলি কী কী ? ইহাদের প্রতিকারের উপায় কী ?

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

(b) লেকল্যান্স কোষের বর্ণনা দাও। এই কোষে স্থানীয় ক্রিয়া ও ছদন নিবারণের জন্য কী ব্যবস্থা লওয়া হইয়াছে ?

19. (a) সপ্তরক কোষ কী ? ড্যানিয়েল ও লেকল্যান্স কোষের সহিত ইহার পার্থক্য কী ? ইহা প্রকৃতপক্ষে কী সপ্তরক করে ?

(b) আধানগ্রস্ত দুইটি বস্তুকে একটি তারের সাহায্যে যুক্ত করিলে কী হইবে ? তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ কাহার দ্বারা নির্ধারিত হইবে ? ইহা কতক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিবে ?

(c) তড়িচ্চালক বল বলিতে কী বুঝ ? একটি কোষের তড়িচ্চালক বল কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

20. তড়িৎ-কোষের দুই তড়িৎদ্বারের বিভব-বৈষম্য কীরূপে ঘটে ? তড়িৎ-কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ কাহাকে বলে ? তড়িচ্চালক বল ও বিভব-বৈষম্যের পার্থক্য বুঝাইয়া বল।

21. 'বর্তনীর যে-অংশে অন্য প্রকার শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয় সেই অংশে তড়িচ্চালক বল এবং যে-অংশে তড়িৎশক্তি অন্য প্রকার শক্তিতে রূপান্তরিত হয় সেই অংশে বিভব-বৈষম্য বর্তমান।'—একটি ব্যাটারী, একটি রোধ, একটি বৈদ্যুতিক মোটর এবং একটি তড়িৎ-বিলম্বক কোষ (বা ভোল্টামিটার) দ্বারা গঠিত বর্তনীকে দৃষ্টান্তরূপে লইয়া উক্তিটি বুঝাইয়া বল এবং বর্তনীর কোণায় তড়িচ্চালক বল এবং বিভব-বৈষম্য রহিয়াছে তাহা বল।

তড়িচ্চালক বল এবং বিভব-বৈষম্যকে কোন্ এককে মাপা হয় ?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1963]

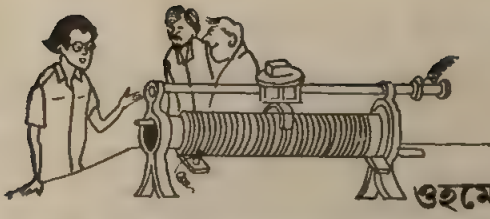
22. নির্জল কোষের গঠন ও কার্যনীতি বর্ণনা কর। এই কোষের ব্যবহার কী ?

23. ড্যানিয়েল কোষের বিভিন্ন অংশ বর্ণনা কর। সরল ভোল্টেজ কোষের দুটিগুলি দূর করিবার জন্য এই কোষে কী ব্যবস্থা লওয়া হইয়াছে ?

24. গোল কোষ কাহাকে বলে ? ইহাকে সপ্তরক কোষ বলা হয় কেন ? একটি সপ্তরক কোষের বর্ণনা দাও। ইহাকে আহিত করিবার সময় এবং ইহার দ্বারা তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবার সময় এই কোষের দুই তড়িৎদ্বারে যে-রাসায়নিক পরিবর্তন হয় তাহার উল্লেখ কর।

25. একটি তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল বলিতে কী বুঝায় ? একটি গোল কোষ বর্ণনা কর ও ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। একটি সরল ভোল্টেজ কোষ হইতে ইহার পার্থক্য কী ? অ্যান্টিস্মার-ঘট্টা বলিতে কী বুঝায় ?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1979]



Knowledge once gained casts a light beyond its own immediate boundaries.

—Tyndall

## 2.1 রোধ (Resistance)

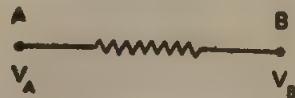
কোন পরিবাহী তারের দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য থাকিলে পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলবে। বিভিন্ন পরিবাহীর দুই প্রান্তে একই বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে দেখা যায় যে, পরিবাহীভেদে প্রবাহমাত্রা বিভিন্ন হয়। পরিবাহী তারের প্রবাহ প্রকৃতপক্ষে ইলেকট্রনের প্রবাহ। সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, সকল পরিবাহীর মধ্য দিয়া ইলেকট্রন প্রবাহের সমান সুযোগ নাই। একই পদার্থের একই দৈর্ঘ্যের একটি সরু তার এবং একটি মোটা তারের দুই প্রান্তে একই বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে সরু তারের প্রবাহমাত্রা মোটা তারের প্রবাহমাত্রা অপেক্ষা কম হয়। পরিবাহীর ঘে-ধর্মের জন্য পরিবাহীভেদে তড়িৎের প্রবাহমাত্রার তারতম্য হয় তাহাকে পরিবাহীর রোধ বলা হয়। যে-পরিবাহীর রোধ বেশি তাহার মধ্য দিয়া প্রবাহমাত্রা কম হয়। সুতরাং, পরিবাহীর রোধ বাড়াইয়া তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা কমান এবং রোধ কমাইয়া প্রবাহের মাত্রা বাড়ান যায়। অর্থাৎ, রোধের পরিবর্তন করিয়া প্রবাহমাত্রার মান নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

## 2.2 ওহমের সূত্র

পরিবাহীর দুইটি বিন্দুতে বিভব-বৈষম্য বজায় রাখিলে ঐ দুই বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকে। প্রবাহের মাত্রা ও বিভব-বৈষম্যের পার্থক্যের মধ্যে যে-নির্দিষ্ট সম্পর্ক বর্তমান তাহা সূত্রাকারে প্রকাশ করেন জার্মান পদার্থবিজ্ঞানী জর্জ সাইমন ওহ্ম। সূত্রটি নিম্নরূপ—

উষ্ণতা ও অন্যান্য ভৌত অবস্থা অপরিবর্তিত থাকিলে কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ চলে তাহা ঐ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের সমানুপাতিক।

মনে করি, কোন পরিবাহীর দুই প্রান্ত বা উহার যে-কোন দুই বিন্দু A এবং B-এর তড়িৎ-বিভব যথাক্রমে  $V_A$  এবং  $V_B$  (চিত্র 2.1)। উহাদের বিভব-বৈষম্য  $= (V_A - V_B)$ । পরিবাহীটির মধ্য দিয়া যে-প্রবাহ চলে তাহা যদি I দ্বারা সূচিত করা হয় তাহা হইলে



চিত্র 2.1

ওহমের সূত্রানুসারে, উষ্ণতা ও অন্যান্য ভৌত অবস্থা অপরিবর্তিত থাকিলে লেখা যায়,

$$I \propto (V_A - V_B) \text{ বা, } (V_A - V_B) = R \cdot I \quad \dots (2.1)$$

এখানে  $R$  একটি ধ্রুবক। ইহাকেই পরিবাহীর রোধ বলা হয়।  $(V_A - V_B)$ -কে  $V$  দ্বারা সূচিত করিলে সমীকরণ (2.1) হইতে লেখা যায়,

$$V = IR \quad \dots (2.2)$$

$$\text{বা, তড়িৎ-প্রবাহ (I)} = \frac{\text{বিভব-বৈষম্য (V)}}{\text{রোধ R}} \quad \dots (2.3)$$

উষ্ণতা ও অন্যান্য ভৌত অবস্থা নির্দিষ্ট থাকিলে পরিবাহীর রোধ উহার উপাদান, দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে। রোধের ধর্মের কথা মনে রাখিলে ওহ্মের সূত্রটি নিম্নরূপেও লেখা যায়—

কোন পরিবাহীর এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে যে-প্রবাহ চলে তাহার মান ঐ দুই বিন্দুর বিভব-বৈষম্যের সমানুপাতিক এবং উহাদের মধ্যবর্তী অংশের রোধের ব্যস্তানুপাতিক।

### 2.3 তড়িৎ-সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির একক

(i) তড়িদাধান (Charge) : তড়িদাধানের ব্যবহারিক একক কুলম্ব। সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের মধ্য দিয়া যে-পরিমাণ তড়িদাধান পাঠাইলে ক্যাথোডে 0.0011182 gm রূপা জমা হয় সেই তড়িদাধানকে 1 কুলম্ব বলা হয়।

(ii) তড়িৎ-প্রবাহ (Current) : তড়িৎ-প্রবাহের ব্যবহারিক একক অ্যাম্পিয়ার। কোন পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়া যদি প্রতি সেকেন্ডে এক কুলম্ব তড়িদাধান অতিক্রম করে তবে পরিবাহীর প্রবাহমাত্রাকে এক অ্যাম্পিয়ার বলা হয়। অর্থাৎ, সিলভার নাইট্রেটের দ্রবণের মধ্য দিয়া যে-তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে প্রতি সেকেন্ডে ক্যাথোডে 0.0011182 gm রূপা জমা হয় সেই তড়িৎ-প্রবাহকে এক অ্যাম্পিয়ার বলা হয়। ইহাই অ্যাম্পিয়ারের আন্তর্জাতিক সংজ্ঞা। এইজন্য ইহাকে আন্তর্জাতিক অ্যাম্পিয়ারও বলা হয়। যষ্ঠ পরিচ্ছেদে অ্যাম্পিয়ারের একটি বিকল্প সংজ্ঞা দেওয়া হইবে।

(iii) বিভব-বৈষম্য (Electric potential) : তড়িৎ-বিভবের ব্যবহারিক একক হইল ভোল্ট। কোন পরিবাহীর এক প্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে এক কুলম্ব তড়িদাধান পাঠাইতে যদি এক জুল কার্য হয় তাহা হইলে ঐ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যকে 1 ভোল্ট (volt) বলা হয়।

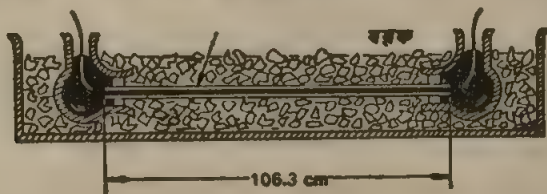
(iv) রোধ (Resistance) : রোধের ব্যবহারিক একক ওহ্ম (ohm)। কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তে এক ভোল্ট বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিলে যদি কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলে তাহা হইলে ঐ পরিবাহীর রোধকে 1 ওহ্ম (ohm) বলা হয়।

$$\text{আমরা জানি, রোধ } R = \frac{\text{বিভব-বৈষম্য, } V}{\text{তড়িৎ-প্রবাহ, } I}; \text{ অতএব, ওহ্ম} = \frac{\text{ভোল্ট}}{\text{অ্যাম্পিয়ার}}$$

আন্তর্জাতিক ওহ্ম :  $0^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় 106.3 cm দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এবং 1 বর্গ



মিলিমিটার প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট পারদস্তরের রোধকে এক আন্তর্জাতিক ওহম বলা হয়। 2.2 নং চিত্রে মানক রোধের নকশা দেখান হইয়াছে। একটি 1 বর্গ মিলিমিটার আভ্যন্তরীণ ব্যাসবিশিষ্ট এবং 106.3 cm দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট কাচের নল বিশুদ্ধ পারদ দ্বারা পূর্ণ করা থাকে। এই নলের দুই প্রান্তে দুইটি পারদপূর্ণ বাল্ব যুক্ত থাকে। এই



চিত্র 2.2

দুই বাল্বের পারদের সহিত বহির্বর্তনী যুক্ত করা হয়। পারদের উষ্ণতা  $0^{\circ}\text{C}$ -এ রাখিবার জন্য পারদনল ও বাল্বটি গলস্ত বরফে ডুবান থাকে।

## 2.4 কোন পরিবাহীর রোধ ও অন্যান্য ভৌত ধর্ম

কোন পরিবাহীর রোধ নিম্নের বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে—

- (i) পরিবাহীর উপাদান ; (ii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্য ; (iii) পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ ;
- (iv) উষ্ণতা ও (v) অন্যান্য ভৌত অবস্থা।

ওহমের সূত্র 'অন্যান্য ভৌত অবস্থা' কথাটি উল্লেখ করা হইয়াছে। নিম্নে ইহার তাৎপর্য আলোচনা করা হইল। দেখা গিয়াছে যে, কোন পরিবাহীর রোধ-যে শুধু উহার উষ্ণতার উপর নির্ভর করে তাহাই নয়, অন্যান্য কয়েকটি বিষয়ের উপরও নির্ভর করে। এইরূপ কয়েকটি বিষয় নিম্নে আলোচিত হইল।

রোধের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব : বিসমাখ ধাতুর উপর উচ্চ শক্তি-সম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে ইহার রোধ পরিবর্তিত হয়। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বাড়িলে ইহার রোধ বৃদ্ধি পায়। বিসমাখের এই ধর্ম ব্যবহার করিয়া চৌম্বক ক্ষেত্রের তীব্রতা পরিমাপ করা হয়। শুধু বিসমাখই নয়, অন্যান্য অনেক পদার্থেও অনুরূপ ধর্ম দেখা যায়।

রোধের উপর চাপের প্রভাব : কার্বন গুড়ার উপর প্রযুক্ত চাপের তারতম্য ঘটিলে উহার রোধ পরিবর্তিত হয়। কার্বন গুড়ার এই ধর্ম কাজে লাগাইয়া কার্বন মাইক্রোফোন তৈয়ারী হইয়াছে।

রোধের উপর আলোর প্রভাব : সিলিনিয়াম মৌলের রোধ উহার উপর আপতিত আলোর তীব্রতার উপর নির্ভর করে। অন্ধকারে ইহার রোধ সর্বাধিক। আপতিত আলোর তীব্রতা বাড়াইলে রোধ কমে।

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, শুধু উষ্ণতা নির্দিষ্ট থাকিলেই প্রবাহমাণা বিভব-বৈষম্যের সমানুপাতিক হইবে, সর্বক্ষেত্রে এই কথা বলা যায় না। চৌম্বক ক্ষেত্র,

চাপ, আপতিত আলোর তীব্রতা ইত্যাদিও অনেক ক্ষেত্রে পরিবাহীর রোধকে প্রভাবিত করে বলিয়া এই সব অবস্থা অপরিবর্তিত না থাকিলে ওহ্মের সূত্র সর্বদা প্রযোজ্য হইবে না।

## 2.5 আপেক্ষিক রোধ (Specific resistance or resistivity)

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে যে,

(i) একই উপাদান ও একই প্রস্থচ্ছেদের বিভিন্ন তারের রোধ (R) উহাদের দৈর্ঘ্য  $l$ -এর সমানুপাতিক, অর্থাৎ,

$$R \propto l \quad \dots (i)$$

(ii) একই উপাদান ও একই দৈর্ঘ্যের বিভিন্ন তারের রোধ (R) উহাদের প্রস্থচ্ছেদ  $S$ -এর ব্যস্তানুপাতিক, অর্থাৎ,

$$R \propto \frac{1}{S} \quad \dots (ii)$$

(iii) একই দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থচ্ছেদসম্পন্ন বিভিন্ন তারের রোধ উহাদের উপাদানের উপর নির্ভরশীল।

উক্ত তার তরতম্য হইলে পরিবাহীর রোধও পরিবর্তিত হয়। স্থির উক্ত তার কোন নির্দিষ্ট উপাদানের পরিবাহীর দৈর্ঘ্য ( $l$ ) এবং প্রস্থচ্ছেদ ( $S$ ) বদলাইলে সমীকরণ (i) ও (ii) হইতে লেখা যায়,

$$R \propto \frac{l}{S} \quad \text{বা,} \quad R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad \dots (iii)$$

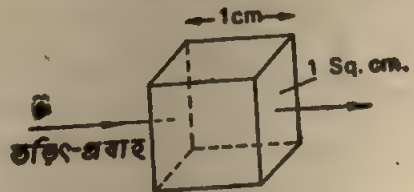
$$\text{বা,} \quad \rho = R \cdot \frac{S}{l} \quad \dots (2.4)$$

এখানে  $\rho$  একটি ধ্রুবক। ইহার মান পরিবাহীর উপাদান, উষ্ণতা ও অন্যান্য ভৌত অবস্থার উপর নির্ভরশীল। ইহাকে পরিবাহীর উপাদানের আপেক্ষিক রোধ বা রোধাঙ্ক বলে। 2.4 নং সমীকরণে  $l=1 \text{ cm}$  এবং  $S=1 \text{ cm}^2$  বসাইয়া পাই,  $\rho=R$ ।

সুতরাং, পদার্থের রোধাঙ্কের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায়—

এক সেন্টিমিটার দীর্ঘ এবং এক বর্গ সেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদের তারের রোধকেই এই তারের উপাদানের রোধাঙ্ক বা আপেক্ষিক রোধ বলে।

ভাষান্তরে বলা যায় যে, এক সেন্টিমিটার বাহুবিশিষ্ট কোন পদার্থের একটি ঘনকের (চিত্র 2.3) দুই বিপরীত পৃষ্ঠের মধ্যে যে-রোধ থাকে তাহাই উক্ত পদার্থের রোধাঙ্ক।



চিত্র 2.3

রোধাঙ্কের একক : সমীকরণ (2.4) হইতে সহজেই রোধাঙ্কের একক স্থির করা যায়।

আমরা জানি,  $R$ -এর একক ohm,  $l$ -এর একক cm এবং  $S$ -এর একক  $\text{cm}^2$

$$\rho = \frac{R (\text{ohm}) \times S (\text{cm})^2}{l \text{ cm}} = \frac{RS}{l} \text{ ohm-cm}$$

অতএব, দেখা যাইতেছে যে, রোধাঙ্কের একক ohm-cm।

## 2.6 পরিবাহিতা (Conductance)

পরিবাহীর রোধ যত কম, উহার পরিবাহিতা তত বেশি। এইজন্য, কোন পরিবাহীর রোধের অনোন্যক (reciprocal)-কে উহার পরিবাহিতা বলা হয়।

$$\text{অর্থাৎ, পরিবাহিতা, } K = \frac{1}{\text{রোধ (R)}}$$

অনুরূপভাবে, রোধাঙ্কের অনোন্যককে বলা হয় পরিবাহিতাঙ্ক (specific conductivity)। অর্থাৎ,

$$\text{পরিবাহিতাঙ্ক, } \sigma = \frac{1}{\text{রোধাঙ্ক, } \rho}$$

রোধের একক ohm ; পরিবাহিতার একক  $\text{ohm}^{-1}$ । 'ohm' শব্দটিকে উল্টাইয়া পাওয়া যায় mho। এইজন্য পরিবাহিতার একককে mho একেও প্রকাশ করা হয়।

রোধাঙ্কের একক ohm-cm ; সুতরাং পরিবাহিতাঙ্কের একক হইবে  $\text{mho-cm}^{-1}$ ।

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রয়োগনী •

**উদাহরণ 2.1** 3 mm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট এবং 31.4 cm দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি ধাতব তারের রোধ  $0.2 \times 10^{-8}$  ohm। ধাতুটির রোধাঙ্ক নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

$$\text{সমাধান : আমরা জানি যে, } R = \rho \frac{l}{A} \quad \dots \quad (i)$$

এখানে,  $R$  = তারের রোধ,  $l$  = তারের দৈর্ঘ্য,  $A$  = তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এবং  $\rho$  = তারের উপাদানের রোধাঙ্ক

$$(i) \text{ হইতে পাই, } \rho = \frac{RA}{l}$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $R = 0.2 \times 10^{-8}$  ohm,  $A = \pi \times (0.3)^2 \text{ cm}^2$  এবং  $l = 31.4 \text{ cm}$   
কাজেই,  $\rho = \frac{0.2 \times 10^{-8} \times \pi \times (0.3)^2}{31.4} = 1.8 \times 10^{-9} \text{ ohm-cm}$

**উদাহরণ 2.2** 10 ohm রোধবিশিষ্ট কুণ্ডলীর জন্য 0.4 mm ব্যাসের কতটা দীর্ঘ জার্মান সিলভারের তার লাগিবে? (জার্মান সিলভারের রোধাঙ্ক,  $\rho = 2 \times 10^{-5} \text{ ohm-cm}$ )

$$\text{সমাধান : } R = \rho \frac{l}{A} \text{ বা, } l = \frac{RA}{\rho}$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $R = 10 \Omega$ ,  $A = \frac{\pi \times (0.04)^2}{4}$  এবং  $\rho = 2 \times 10^{-5} \text{ ohm-cm}$

$$\text{কাজেই, তারের দৈর্ঘ্য} = \frac{10 \times \pi \times (0.04)^2}{4 \times 2 \times 10^{-5}} = 628 \text{ cm}$$

**উদাহরণ 2.3** যদি  $1 \text{ cm}^3$  আয়তনের তামাকে সুবম প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট  $1 \text{ m}$  লম্বা তারে পরিণত করা হয় তাহা হইলে ঐ তারের রোধ কত হইবে? তামার রোধাঙ্ক  $1.8 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}$ । [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1966]

**সমাধান :** তামার তারের দৈর্ঘ্য  $l$  এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল  $S$  হইলে ইহার আয়তন,

$$V = lS \quad \dots \quad (i)$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $V = 1 \text{ cm}^3$  এবং  $l = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$

কাজেই, তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল,  $S = \frac{V}{l} = \frac{1}{100} \text{ cm}^2 = 10^{-2} \text{ cm}^2$

সুতরাং, তামার তারটির রোধ,  $R = \rho \frac{l}{S}$ , এখানে  $\rho =$  রোধাঙ্ক

শর্তানুসারে,  $\rho = 1.8 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}$

$$\therefore R = 1.8 \times 10^{-6} \times \frac{10^2}{10^{-2}} = 1.8 \times 10^{-2} \text{ ohm}$$

**উদাহরণ 2.4** দুইটি তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাস এবং রোধাঙ্কের প্রতিটির অনুপাত  $1 : 3$ ; অপেক্ষাকৃত সরু তারটির রোধ  $20 \Omega$  হইলে অন্যটির রোধ কত? [জয়েন্ট এন্টান্স, 1982]

**সমাধান :** মনে করি, সরু তারটির দৈর্ঘ্য, ব্যাস এবং রোধাঙ্ক যথাক্রমে  $l, d$  এবং  $\rho$ ; কাজেই, অন্য তারটির দৈর্ঘ্য, ব্যাস এবং রোধাঙ্ক যথাক্রমে  $3l, 3d$  এবং  $3\rho$  হইবে।

$$\text{সরু তারের রোধ, } R_1 = \rho \cdot \frac{l}{A} = \rho \cdot \frac{l}{(\pi d^2/4)} = \frac{4}{\pi} \rho l / (d)^2 \quad \dots \quad (i)$$

$$\begin{aligned} \text{একইভাবে মোটা তারের রোধ, } R_2 &= \frac{4}{\pi} (3\rho) (3l) / (3d)^2 \\ &= \frac{4}{\pi} \rho l / d^2 \quad \dots \quad (ii) \end{aligned}$$

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ হইতে দেখা যাইতেছে যে,  $R_1 = R_2$

কিন্তু প্রশ্নানুসারে,  $R_1 = 20 \Omega$ ; কাজেই, মোটা তারের রোধ  $R_2 = 20 \text{ ohms}$ .

**উদাহরণ 2.5** দুইটি তামার তারের দৈর্ঘ্যের অনুপাত  $1 : 2$  এবং উহাদের রোধ সমান। তার দুইটির ব্যাসের অনুপাত নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982]

**সমাধান :** মনে করি, প্রথম তারের দৈর্ঘ্য = "

কাজেই, দ্বিতীয় তারের দৈর্ঘ্য =  $2l$

তার দুইটির ব্যাস যথাক্রমে  $d_1$  এবং  $d_2$  হইলে ইহাদের রোধ যথাক্রমে

$$R_1 = \rho \frac{l}{A_1} = \rho \frac{l}{\frac{\pi}{4} d_1^2} = \frac{4}{\pi} \rho l / d_1^2 \quad \dots \quad (i)$$

$$R_2 = \rho \frac{2l}{A_2} = \rho \frac{l}{\frac{\pi}{4} d_2^2} = \frac{8}{\pi} \rho l / d_2^2 \quad \dots \quad (ii)$$

এখানে  $\rho$  হইল তামার রোধাঙ্ক।



এখন  $R_1$  এবং  $R_2$  সমান বলিয়া (i) এবং (ii) হইতে লেখা যায়,

$$\frac{4}{\pi} \rho l / d_1^2 = \frac{8}{\pi} \rho l / d_2^2$$

$$\text{বা, } \frac{d_1^2}{d_2^2} = \frac{1}{2}$$

$$\text{বা, } \frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

কাজেই, তার দুইটির ব্যাসের অনুপাত  $= 1 : \sqrt{2}$

**উদাহরণ 2.6** 10 গ্রাম ভরবিশিষ্ট একটি তামার পিণ্ড দেওয়া হইল। ইহা হইতে নির্মিত তামার তারের দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থচ্ছেদ কত হইলে উহার রোধ 2 ওহম হইবে? তামার ঘনত্ব  $= 9 \text{ gm/cm}^3$  এবং তামার রোধাঙ্ক  $= 1.8 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}$ ।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1985 ]

**সমাধান :** মনে করি, তামার তারটির দৈর্ঘ্য  $l \text{ cm}$  এবং ইহার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল  $A \text{ cm}^2$ । কাজেই, ইহার আয়তন  $= \text{দৈর্ঘ্য} \times \text{ক্ষেত্রফল} = lA \text{ cm}^3$

তামার ভর,  $m = \text{আয়তন} \times \text{ঘনত্ব}$

প্রাপ্তানুসারে,  $m = 10 \text{ gm}$  বলিয়া লেখা যায়,

$$10 = lA = 9 \quad \therefore l = \frac{10}{9A} \text{ cm} \quad \dots (i)$$

তারটির রোধ,  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$  [ $\rho = \text{তামার রোধাঙ্ক}$ ]

$$= \rho \cdot \frac{(10/9A)}{A} = \rho \cdot \frac{10}{9A^2} \quad \dots (ii)$$

এখন,  $R = 2 \text{ ohm}$  এবং  $\rho = 1.8 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}$  বলিয়া লেখা যায়,

$$2 = 1.8 \times 10^{-6} \times \frac{10}{9A^2}$$

$$\text{বা, } A^2 = 10^{-6} \text{ cm}^4$$

$$\text{বা, } A = 10^{-3} \text{ cm}^2$$

অর্থাৎ, তারের প্রস্থচ্ছেদ  $= 10^{-3} \text{ cm}^2$

(i) নং সমীকরণে  $A$ -এর মান বসাইয়া পাই,

$$l = \frac{10}{9 \times 10^{-3}} \text{ cm} = \frac{10000}{9} \text{ cm} = \frac{100}{9} = 11.11 \text{ m (প্রায়)}$$

**উদাহরণ 2.7** একটি ধাতব তারের একটি নির্দিষ্ট রোধ আছে। যদি তারটিকে টানিয়া উহার দৈর্ঘ্য বিগুণিত করা হয় তাহা হইলে তারটির রোধের মানের কী পরিবর্তন হইবে? ধরিয়া লইতে পার যে, তারের আয়তন এবং রোধাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকে।

[ অরেস্ট এন্টাল, 1986 ]

**সমাধান :** মনে করি, তারটির প্রাথমিক দৈর্ঘ্য  $l$  এবং প্রস্থচ্ছেদের প্রাথমিক ক্ষেত্রফল  $A$ । দৈর্ঘ্য ত্রিগুণিত করিলে উহার অন্তিম দৈর্ঘ্য হইবে  $2l$ । এই সময় তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল  $A'$  হইলে লেখা যায়,

$$A \cdot l = A' \cdot 2l \quad \text{[যেহেতু তারের আয়তন অপরিবর্তিত আছে]}$$

$$\text{বা, } A' = \frac{A}{2}$$

ধরি, তারটির প্রাথমিক রোধ  $= R$  এবং অন্তিম রোধ  $= R'$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad \dots (i)$$

$$R' = \rho \cdot \frac{2l}{(A/2)} = 4\rho \cdot \frac{l}{A} \quad \dots (ii)$$

(i) এবং (ii) হইতে পাই,  $R' = 4R$

অর্থাৎ, তারের দৈর্ঘ্য ত্রিগুণিত হইলে ইহার রোধের মান প্রাথমিক রোধের চারগুণ হইবে।

**উদাহরণ 2.8** আন্তর্জাতিক ওহমের সংজ্ঞা হইতে  $0^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় পারদের রোধাক্ষের মান নির্ণয় কর।

**সমাধান :** সংজ্ঞানুসারে,  $0^\circ\text{C}$  উষ্ণতায়  $106.3\text{ cm}$  দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এবং  $1$  বর্গ মিলিমিটার প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট পারদস্তম্ভের রোধকে এক আন্তর্জাতিক ওহ্ম বলা হয়।

$$\text{আমরা জানি, } R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (\rho = \text{রোধাক্ষ})$$

এখানে,  $R = 1\Omega$ ,  $l = 106.3\text{ cm}$  এবং  $A = 1\text{ mm}^2 = 0.01\text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} \therefore \rho &= \frac{RA}{l} = \frac{1 \times 0.01}{106.3} \text{ ohm-cm} \\ &= 9.4 \times 10^{-5} \text{ ohm-cm (প্রায়)} \end{aligned}$$

## 2.7 রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক

(Temperature coefficient of resistance)

কোন পরিবাহীর রোধ উহার উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। উষ্ণতা বাড়িলে সাধারণত পরিবাহীর রোধ বাড়ে এবং উষ্ণতা কমিলে ইহার রোধ কমে।  $100^\circ\text{C}$  উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে বিশুদ্ধ ধাতুর রোধ শতকরা 40 হইতে 50 ভাগ বৃদ্ধি পাইতে পারে। সঙ্কর ধাতুর ক্ষেত্রে রোধের উষ্ণতাজনিত হ্রাসবৃদ্ধির হার ভুলনামূলকভাবে কম।

$0^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় কোন পরিবাহীর রোধ  $R_0$  হইলে  $t^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় ইহার রোধ নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে :

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \dots)$$

$\beta, \gamma$  ইত্যাদি রাশির মান খুব কম বলিয়া উষ্ণতা  $t$ -এর মান কম হইলে আমরা

লিখিতে পারি,  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$

$$\text{বা, } \alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t} \quad \dots (2.5)$$

এখানে  $\alpha$ -কে বলা হয় পরিবাহীর উপাদানের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক। ইহার নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায় :

প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য একক রোধসম্পন্ন কোন রোধকের যে-পরিমাণ রোধ বৃদ্ধি হয় তাহাকে উক্ত রোধকের উপাদানের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক বলা হয়।

‘অ্যালুমিনিয়ামের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্কের মান  $45 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ’ এই উক্তির তাৎপর্য এই যে, 1 ওহ্ম রোধসম্পন্ন কোন অ্যালুমিনিয়াম তারের উষ্ণতা  $1^{\circ}\text{C}$  বৃদ্ধি করিলে উহার রোধ  $45 \times 10^{-4}\Omega$  বৃদ্ধি পাইবে।

কোন উপাদানের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক  $\alpha$ -এর মান সকল উষ্ণতায় সমান থাকে না। বিভিন্ন উষ্ণতায় ইহার মানের কিছুটা পরিবর্তন দেখা যায়।

ধাতব পদার্থের জন্য রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্কের মান ধনাত্মক। কিন্তু কার্বন, বিভিন্ন প্রকার অন্তরক পদার্থ (insulators), অর্ধপরিবাহী (semi-conductors) ইত্যাদির রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক ঋণাত্মক।

উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত পরিবাহীর রোধের হ্রাস-বৃদ্ধির নানা ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে। বিকিরণ পরিমাপে (radiation measurement) ইহার ব্যবহার আছে। উষ্ণতার সহিত রোধের পরিবর্তন কাজে লাগাইয়া প্রাচীনাম রোধ থার্মিস্টার (platinum resistance thermometer)-নামক উষ্ণতা-মাপক ব্যবস্থা তৈয়ারী করা হইয়াছে।

কতকগুলি বিশেষ সঙ্কর ধাতুর ক্ষেত্রে উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত রোধের পরিবর্তনের হার নগণ্য। উদাহরণ হিসাবে ম্যাঙ্গানিন এবং কন্সটেন্ট্যানের নাম উল্লেখ করা যায়। মানক রোধ-কুণ্ডলী (standard resistors) তৈয়ারী করিতে এবং যে-সকল বৈদ্যুতিক যন্ত্রে রোধ স্থির রাখা জরুরী সেই সকল যন্ত্র নির্মাণে এই সকল সঙ্কর ধাতু ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়।

### ● উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে ধাতব পরিবাহীর মান বাড়ে কেন ?

ধাতব পরিবাহীর ক্ষেত্রে উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত রোধও বৃদ্ধি পায়। নিম্নে ইহার কারণ ব্যাখ্যা করা হইল।

ধাতব পদার্থে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। ইহারা ধাতব পরিবাহীর মধ্য দিয়া অবাধে চলাফেরা করিতে পারে। কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে ইলেকট্রনগুলি পরিবাহীর একপ্রান্ত হইতে অপর প্রান্তের দিকে যাইতে থাকে। এই চলার পথে পরিবাহীর অণুগুলির সহিত মুক্ত ইলেকট্রনের সংঘাত ঘটে। ইহাতে ইলেকট্রনের প্রবাহে বাধার সৃষ্টি হয়। এই বাধা যত বেশি হইবে, পরিবাহীর রোধও তত বেশি হইবে। পদার্থের অণুগুলি স্থির নয়, উহারা স্পন্দনশীল। পদার্থের উষ্ণতা যত বেশি হইবে উহার অণুগুলির স্পন্দনের বিস্তার (amplitude)-ও তত বেশি হইবে। স্পন্দনবিস্তার বেশি হইলে কার্ষত অণুগুলির মধ্যবর্তী ব্যবধান (inter-atomic space) কমিয়া যায়। ইহাতে চলমান ইলেকট্রনগুলির সহিত স্পন্দনশীল

অণুগুলির সংঘাতের সম্ভাব্যতা (probability)-ও বাড়িয়া যায়। উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত ইলেকট্রন ও অণুগুলির মধ্যে সংঘাতের হার বৃদ্ধি পায় বলিয়া পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়।

● কয়েকটি ব্যতিক্রম : উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত সকল পদার্থের রোধ বৃদ্ধি পায় না। জার্মেনিয়াম, সিলিকন, লেড সালফাইড, কার্বন ইত্যাদি পদার্থের যোজ্যতা-ইলেকট্রনগুলি (valence electrons) সমযোজী বন্ধনী (covalent bond) গঠন করিয়া দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ অবস্থায় থাকে। উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে এই সকল পদার্থের কিছু সংখ্যক সমযোজী বন্ধনী ভাঙিয়া যায়, ইহাতে কিছু পরিমাণ ইলেকট্রন মুক্ত হয়। উষ্ণতা যত বাড়ে তত বেশি সংখ্যক যোজ্যতা-বন্ধনী ভাঙিয়া যায়। ফলে, মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যাও বাড়ে। এইজন্য উষ্ণতা বৃদ্ধি করিলে এই সকল পদার্থের পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায় এবং রোধ কমিয়া যায়। অর্থাৎ, এই সকল পদার্থের ক্ষেত্রে রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক ঋণাত্মক।

উষ্ণতা-বৃদ্ধির ফলে তাড়িত-বিশ্লেষ্য পদার্থের রোধও কমিয়া যায়। উষ্ণতা বাড়িলে তাড়িত-বিশ্লেষ্য পদার্থের আয়নায়ন (ionisation) বৃদ্ধি পায়, অর্থাৎ উষ্ণতা-বৃদ্ধির ফলে তাড়িত-বিশ্লেষ্য পদার্থে আধানবাহী আয়নের সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। ফলে ইহার পরিবাহিতা বাড়ে বা রোধ কমে।

নিম্নে কয়েকটি পদার্থের রোধাঙ্ক ( $\rho$ ) এবং উহাদের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক তালিকার আকারে দেওয়া হইল।

পদার্থ	রোধাঙ্ক ( $20^{\circ}\text{C}$ উষ্ণতায়), $\rho$ ohm-cm	রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক, $\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
অ্যালুমিনিয়াম	$3.2 \times 10^{-6}$	0.0038
তাম্র	$1.78 \times 10^{-6}$	0.0043
বিশুদ্ধ লোহা	$10 \times 10^{-6}$	0.0062
পারদ	$95.76 \times 10^{-6}$	0.0009
নিকেল	$11.8 \times 10^{-6}$	0.0027
প্র্যাটিনাম	$11.0 \times 10^{-6}$	0.0038
রূপা	$1.63 \times 10^{-6}$	0.0040
টাংস্ট্যান	$5.4 \times 10^{-6}$	0.0051
পিত্তল	$6.6 \times 10^{-6}$	0.0010
কনস্টেন্ট্যান	$49 \times 10^{-6}$	0.000008
ম্যাঙ্গানিন	$44.5 \times 10^{-6}$	0.000002-0.00005
নাইক্রোম	$110 \times 10^{-6}$	0.00017

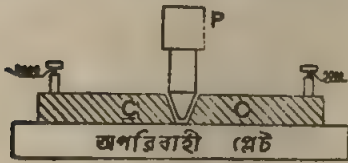
## 2.8 তাড়িত-প্রবাহ-নিয়ন্ত্রক যন্ত্রপাতি

তাড়িত-প্রবাহ নিয়ন্ত্রণের জন্য কতকগুলি উপকরণ প্রয়োজন। নিম্নে উহাদের কয়েকটির উল্লেখ করা হইল।



(i) চাবি (Key) : তড়িৎ-বর্তনীকে ইচ্ছামত ছিন্ন (open) বা সংহত (closed) করার জন্য চাবি ব্যবহৃত হয়। চাবি নানা প্রকার হইতে পারে। যথা—(a) প্লাগ চাবি (plug key), (b) টেপা চাবি (tapping key) এবং (c) সুইচ (switch)।

(a) প্লাগ চাবি : কোন তড়িৎ-বর্তনীতে অনেককক্ষ ধরিয়া প্রবাহ পাঠাইতে হইলে এই প্লাগ চাবি ব্যবহৃত হয়। ইহাতে অপরিবাহী প্লেটের উপর দুইটি মোটা ধাতব পাত বসান থাকে। এই পাত দুইটির মধ্যে একটি ফাঁক (air gap) থাকে (চিত্র 2.4)। ফাঁকটির উপরের দিক গোলা করিয়া কাটা থাকে এবং ইহা উপর হইতে নিচের দিকে ক্রমশ সরু হইয়া গিয়াছে। এইরূপ আকারের একটি ধাতুখণ্ডকে ঐ ফাঁকের মধ্যে বসাইয়া দিলে ধাতব পাত দুইটির মধ্যে বৈদ্যুতিক সংযোগ

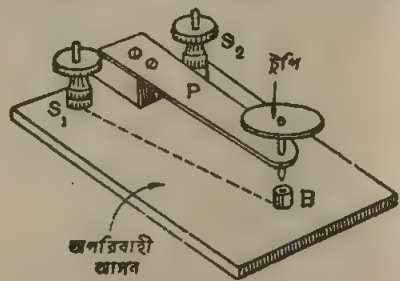


চিত্র 2.4

থাকে। ইহাদের সহিত তড়িৎ-বর্তনীর দুই প্রান্ত জুড়িয়া দেওয়া হয়। প্লাগ খোলা থাকিলে বর্তনী ছিন্ন হয়, ফলে বর্তনীতে কোন প্রবাহ থাকে না। প্লাগটিকে ফাঁকের মধ্যে বসাইয়া দিলে বর্তনী সংহত হয়।

স্থাপিত হয়। এই ধাতুখণ্ডকে প্লাগ বলে। 2.4 নং চিত্রে ইহাকে P দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। ইহার উপর দিকে একটি অপরিবাহী টুপি লাগান থাকে। ধাতব পাত দুইটির সহিত দুইটি সংযোজক জু (binding screw) যুক্ত

(b) টেপা চাবি : 2.5 নং চিত্রে একটি চাবি দেখান হইয়াছে।  $S_1$  এবং  $S_2$  দুইটি সংযোজক জু। ইহারা একটি অপরিবাহী প্লেটের উপর বসান।  $S_2$ -জুর সহিত একটি পাতলা পিতলের পাত P যুক্ত আছে। P-পাতের মাধ্যম একটি অপরিবাহী টুপি লাগান থাকে। ঐ টুপি চাপিলে P-পাতের তলার অবস্থিত একটি পিন উহার ঠিক নিচে অপরিবাহী আসনের উপর স্থাপিত একটি বোতামের সংস্পর্শে আসে। বোতামটি পরিবাহী। আসনের তলা দিয়া একটি তার বোতামটিকে  $S_1$ -স্কুর সহিত যুক্ত করিয়াছে (চিত্রে কাটা লাইনের সাহায্যে ইহা দেখান হইয়াছে)।



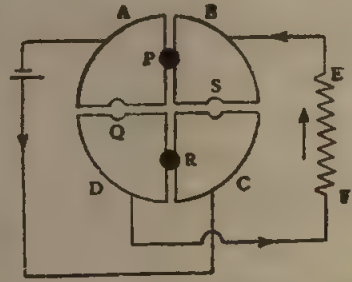
চিত্র 2.5

তড়িৎ-বর্তনীর দুই প্রান্ত  $S_1$  এবং  $S_2$  জুর সহিত যুক্ত করিয়া P-পাতের টুপি টিপিলে বর্তনী সংহত হইবে। টুপি ছাড়িয়া দিলে পাতের স্থিতিস্থাপকতার জন্য উহা পূর্বাৱস্থায় ফিরিয়া আসে, ফলে বর্তনী ছিন্ন হয়। খুব অল্প সময়ের জন্য কোন বর্তনী সংহত করিতে হইলে একরূপ টেপা চাবি ব্যবহৃত হয়।

(c) **সুইচ** : ইহাও একপ্রকার চাবি। ইহাতে প্রাণের সহিত একটি স্প্রিং লাগান থাকে। ইহাকে এক দিকে টানিলে বর্তনী বিচ্ছিন্ন হয়, অপর দিকে টানিলে বর্তনী সংহত হয়। বাড়িতে বৈদ্যুতিক পাখা, বৈদ্যুতিক বাতি ইত্যাদির বর্তনীতে এই জাতীয় চাবি যুক্ত থাকে। ইহার সাহায্যে দ্রুত বর্তনী সংহত বা ছিন্ন করা যায়।

(ii) **কম্যুটেটর (Commutator)** : তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করিবার জন্য কম্যুটেটর ব্যবহৃত হয়। কম্যুটেটর নানা প্রকার হইতে পারে। নিচে একটি সরল গঠনের কম্যুটেটরের বর্ণনা করা হইয়াছে।

**প্লাগ কম্যুটেটর** : 2.6 নং চিত্রে একটি প্লাগ কম্যুটেটর দেখান হইয়াছে। ইহাতে অপরিবাহী আসনের উপর চারটি পিতলের মোটা পাত (A, B, C এবং D) বসান আছে। ঐ পাতগুলির মধ্যে চারটি ফাঁক আছে। প্রাণের সাহায্যে ইহাদের পাশাপাশি যে-কোন দুইটির মধ্যে যান্ত্রিক সংযোগ ঘটান যায়। পাতগুলির সহিত একটি করিয়া সংযোজক স্কু লাগান থাকে।



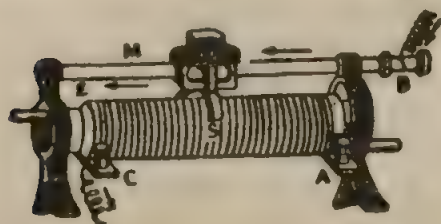
চিত্র 2.6

যে-বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করিতে হইবে, সেই বর্তনীর দুই প্রান্ত কম্যুটেটরের কোণাকূর্ণ দুই পাতের সহিত (যেমন, B ও D-এর সহিত) যুক্ত করা হয়। অপর দুই পাত যুক্ত করা হয় তড়িৎ-কোষ বা ব্যাটারীর দুই প্রান্তের সহিত। P এবং R অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত ফাঁক দুইটিতে প্রাণ লাগাইলে E-F-এর মধ্য দিয়া F হইতে E-এর দিকে প্রবাহ চলিবে। আবার Q এবং S ফাঁকে প্রাণ বসাইলে বর্তনীর প্রবাহ E হইতে F অভিমুখে প্রবাহিত হইবে।

(iii) **বিভিন্ন প্রকার রোধ-কুণ্ডলী** : তড়িৎ বর্তনীর প্রবাহমাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধি করিবার জন্য রোধ-কুণ্ডলী ব্যবহৃত হয়। রোধ-কুণ্ডলী নানা প্রকার হইতে পারে—কাহারও রোধ স্থির, আবার কাহারও রোধ ইচ্ছামত কমান বা বাড়ান যায়। যে-সকল উপাদানের রোধশক্তি (specific resistance) বেশি এবং উষ্ণতার সহিত যাহাদের রোধের পরিবর্তনের হার কম, সেই সকল পদার্থের (যেমন, ম্যাঙ্গানিন, নাইকোম, ইউরেকা ইত্যাদি সংকর ধাতুর) তার দিয়া এই সকল রোধ-কুণ্ডলী তৈয়ারী করা হয়। অল্প রোধবিশিষ্ট কুণ্ডলীতে মোটা তার এবং বেশি রোধবিশিষ্ট কুণ্ডলীতে সরু তার ব্যবহার করা হয়।

(a) **পরিবর্তনীয় রোধের কুণ্ডলী বা রিওস্ট্যাট (Rheostat)** : এইরূপ রোধের সাহায্যে বর্তনীর রোধ একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে ইচ্ছামত বাড়ান বা কমান যায়। বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নিয়ন্ত্রণের জন্য এই পরিবর্তনীয় রোধ খুবই উপযোগী।

2.7 (i) নং চিত্রে একটি রিওস্ট্যাট দেখান হইয়াছে। ইহাতে একটি লম্বা পরিবাহী তার একটি অপরিবাহী (সাধারণত চীনা মাটির তৈয়ারী) বেলনের উপর জড়ান থাকে। কুণ্ডলীর পাকগুলি পরস্পরকে স্পর্শ করে না। কুণ্ডলীর উপর M



(i)

চিত্র 2.7



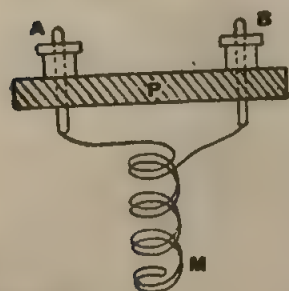
(ii)

একটি ধাতব পদ। ইহার উপরে একটি ধাতু-নির্মিত সমস্তরশঙ্কম ধাতব পাত (slider) থাকে। চিত্রে ইহাকে S অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। এই ধাতব পাত কুণ্ডলীকে স্পর্শ করিয়া চলে।

পরিবাহী তারের দুই প্রান্ত বেলনের দুই প্রান্তের দুইটি সংযোজক কু A এবং C-এর সহিত আটকান। M ধাতব পদের এক প্রান্তে একটি সংযোজক কু B যুক্ত থাকে।

A এবং C কুের সহিত কোন বর্তনীর দুই প্রান্ত যোগ করিলে কুণ্ডলীর সম্পূর্ণ রোধ এই বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হয়। কিন্তু বর্তনীর একপ্রান্ত A বা C এবং অপর প্রান্ত B-এর সহিত যুক্ত থাকিলে স্লাইডার S সরাইয়া বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত রোধের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটান যায়। 2.7 (ii) নং চিত্রের ন্যায় বর্তনীকে A এবং B-এর সহিত যুক্ত করিলে SA অংশের রোধ বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হইবে। B এবং C কুের সহিত তড়িৎ-বর্তনীর দুই প্রান্ত যোগ করিলে বর্তনীতে SC অংশের রোধ কার্যকর হইবে।

(b) স্থির মানের রোধ কুণ্ডলী (Fixed resistance coil) : তড়িৎ-সংক্রান্ত অনেক কাজে নির্দিষ্ট মানের রোধ ব্যবহার করিতে হয়। এই উদ্দেশ্যে নানা মানের



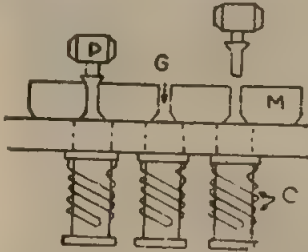
চিত্র 2.8

রোধ-কুণ্ডলী তৈয়ারী করা হয়। ইহাদের রোধ এক ওহ্মের সবল গুণিতক বা ভগ্নাংশ হইতে পারে। প্রয়োজনীয় রোধের তার লইয়া উহাকে দুই ভাঁজ করিয়া, এই ভাঁজ-করা তারকে একটি অপরিবাহী বেলনের উপর জড়ান হয়। 2.8 নং চিত্রে M এইরূপ একটি তার। ইহার দুই প্রান্ত দুইটি সংযোজক কু A এবং B-এর সহিত যুক্ত। কু দুইটি একটি অপরিবাহী পাতের (P) উপর অন্তরিত অবস্থায় বসান থাকে। তারের উপর

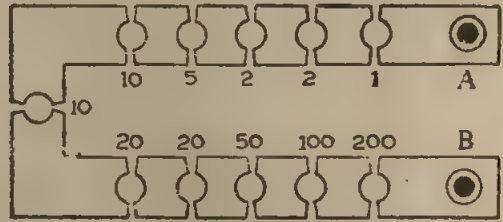
রেণম জড়াইয়া বা এনামেলের প্রলেপ দিয়া উহার এক পাক অন্য পাকের

সহিত অন্তর্ভুক্ত করা থাকে। তার-সমেত বেলনটিকে একটি আধারের মধ্যে রাখা হয়। আধারের গায়ে কুণ্ডলীর রোধের মান লেখা থাকে।

(c) রোধ-বাক্স (Resistance box) : বিভিন্ন মানের জানা রোধকে কোন বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করিবার উদ্দেশ্যে রোধ-বাক্স ব্যবহৃত হয়। ইহাদের একটি বাস্তব ভিত্তর স্থির মানের কয়েকটি রোধ-কুণ্ডলী থাকে। এই সকল কুণ্ডলী কতকগুলি ধাতব



চিত্র 2.9 (a)

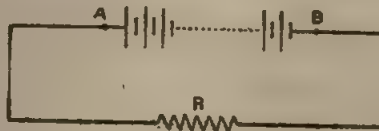


চিত্র 2.9 (b)

পাত (M) দ্বারা শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা থাকে [ 2.9 (a) ]। দুইটি ধাতব পাতের মধ্যে একটু করিয়া ফাঁক (G) থাকে এবং সেখানে প্রাগ চািবির মত একটি প্রাগ (P) লাগাইবার ফাঁক থাকে। শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত রোধ-কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে দুইটি বন্ধনী-জু (A ও B) থাকে। যে-বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করিতে হইবে সেই বর্তনীর দুই দুই প্রান্ত এই বন্ধনী জু-দ্বয়ের সহিত যুক্ত করা হয়। কোন তারকুণ্ডলীর মুখের প্রাগ খুলিয়া রাখিলে ঐ তারকুণ্ডলীর রোধ বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হয় ; ফলে উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলে। কাজেই বিভিন্ন প্রাগ খুলিয়া রাখিয়া বিভিন্ন মানের রোধ বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করা হয়। প্রাগের অবস্থানের পাশে ঐ স্থানে যুক্ত রোধ-কুণ্ডলীর রোধের মান লেখা থাকে [ চিত্র 2.9 (b) ]।

## 2.9 ওহ্মের সূত্রের পরীক্ষাভিত্তিক প্রমাণ (Verification of Ohm's law)

নিম্নের পরীক্ষার সাহায্যে ওহ্মের সূত্রের সত্যতা নিরূপণ করা যায়। একটি ব্যাটারী (B), একটি টেপা চািব (K), একটি রিওস্ট্যাট (Rh), একটি স্থির মানের রোধ (R) এবং একটি অ্যাম্মিটার (A)-কে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হইল (চিত্র 2.10)।



চিত্র 2.10

রিওস্ট্যাটের একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ রোধকে বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করিয়া টেপা চািব K



বন্ধ করিয়া বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করা হইল। অ্যামিটার (A) হইতে এই তড়িৎ-প্রবাহের মান পাওয়া যায়। স্থির মানের রোধ R-এর সহিত সমান্তরালভাবে একটি ভোল্টমিটার (V) যুক্ত করা হইল। ইহার পাঠ হইতে R রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য পাওয়া যায়।

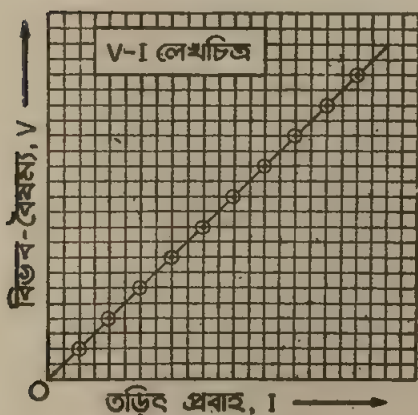
পরিবর্তনীয় রোধ R-এর মান বদলাইয়া বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ I-এর মান বদলাইলে ভোল্টমিটারের পাঠও বদলাইবে। মনে করি, রিওস্ট্যাটে বিভিন্ন মানের রোধ অন্তর্ভুক্ত করিয়া বর্তনীতে  $I_1, I_2, I_3, \dots$  ইত্যাদি তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। এই সমস্ত ভোল্টমিটারের পাঠ বধাক্রমে  $V_1, V_2, V_3, \dots$  ইত্যাদি হইলে দেখা যাইবে যে,

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_3}{I_3} = \dots = \text{ধ্রুবক}$$

$$\text{বা, } \frac{V}{I} = \text{ধ্রুবক।}$$

ইহা হইতে ওহ্মের সূত্রের সত্যতা প্রতিপন্ন হয়। পরীক্ষাকালে লক্ষ্য রাখিতে হইবে যাহাতে রোধ-কুণ্ডলী R-এর উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে।

তড়িৎ-প্রবাহের বিভিন্ন মান ( $I_1, I_2, I_3, \dots$ ) এবং আনুসঙ্গিক বিভব-বৈষম্য ( $V_1, V_2, V_3, \dots$ ) মাপিয়া তড়িৎ-প্রবাহ এবং বিভব-বৈষম্যের সম্পর্কে



চিত্র 2.11

লেখচিত্রের আকারেও প্রকাশ করা যায়। I এবং V-এর পরীক্ষালব্ধ মানগুলি বসাইয়া V-I লেখচিত্র অঙ্কন করিলে একটি মূলবিন্দুগামী সরলরেখা হইবে। 2.11 নং চিত্রে V-I লেখচিত্রটি দেখান হইয়াছে। V-I লেখচিত্রটি সরলরেখা বলিয়া প্রমাণিত হইল যে, তড়িৎপ্রবাহ (I) বিভব-বৈষম্য (V)-এর সমানুপাতিক। ইহাতে ওহ্মের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

## 2.10 ওহ্মের সূত্রের সীমাবদ্ধতা

ধাতব পরিবাহীর ক্ষেত্রে ওহ্মের সূত্র প্রযোজ্য হয়। এই সকল পরিবাহীকে ওহ্মীয় পরিবাহী (ohmic conductor) বলা হয়। ধাতু এবং ধাতু সংকরগুলির ক্ষেত্রে ওহ্মের সূত্রটি প্রযোজ্য হইলেও তড়িৎ-বিদ্রোহী দ্রবণ, ডায়োড ভাল্ভ, ট্রায়োড ভাল্ভ, অর্ধপরিবাহী ইত্যাদি পরিবাহী ওহ্মের সূত্র মানিয়া চলে না। গ্যাসের মধ্য

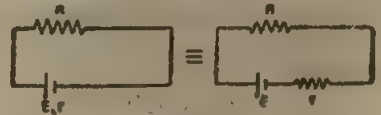
দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণের ক্ষেত্রেও তড়িৎ-প্রবাহ মোক্ষণনে প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্যের সমানুপাতিক হয় না। যে-সকল পরিবাহীর ক্ষেত্রে ওহ্মের সূত্র প্রযোজ্য নয় উহাদিগকে অ-ওহ্মীয় পরিবাহী (non-ohmic resistance) বলা হয়। ইহাদের ক্ষেত্রে V-I লেখচিত্রটি মূলবিন্দুগামী হইবে না। অ-ওহ্মীয় রোধের ক্ষেত্রে V-I লেখচিত্রটি সাধারণত অরৈখিক (non-linear) হইবে। লেখচিত্রটি মূলগামী না-ও হইতে পারে। কয়েকটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে একটি ন্যূনতম বিভব-বৈষম্য অতিক্রম না করিলে তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায় না বলিয়া এই সকল ক্ষেত্রে V-I লেখচিত্রটি মূলবিন্দু দিয়া যায় না।

## 2.11 কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ ও আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন

(Internal resistance and internal potential drop of a cell)

কোন তড়িৎ-কোষের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ উহার একটি তড়িদ্বার হইতে অপর তড়িদ্বারের দিকে যায়। তড়িৎ-কোষের মধ্যবর্তী সক্রিয় পদার্থ বা তরলের কিছুটা রোধ (resistance) থাকে। ইহাকে কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ বলা হয়। কোষের সক্রিয় তরল, তড়িদ্বার দুইটির দূরত্ব, উহাদের আকার ইত্যাদির উপর কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের মান নির্ভর করে। কোষের তড়িদ্বারগুলির আকার বড় হইলে এবং উহারা খুব কাছাকাছি থাকিলে ইহার আভ্যন্তরীণ রোধের মান কমিয়া যায়। এইজন্য লেক-ল্যান্স কোষ ও ড্যানিয়েল কোষের তুলনায় সঞ্চয়ক কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ অনেক কম। কোন তড়িৎ-কোষের দুই তড়িদ্বারের সহিত একটি পরিবাহী তারের দুই প্রান্ত যোগ করিলে উহার মধ্য দিয়া কী পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে তাহা কেবলমাত্র কোষের তড়িচ্চালক বল এবং পরিবাহীর রোধের উপরই নির্ভর করে না, কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের উপরও নির্ভর করে।

কোন কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ ঐ কোষের সহিত শ্রেণী-সমবাহ্যে আছে এইরূপ ধরিয়া লওয়া যায়। এইবার মনে করা যাক, এই তড়িৎ-কোষের দুই তড়িদ্বারের সহিত R রোধাবিশিষ্ট একটি পরিবাহীর দুই প্রান্ত যুক্ত করা হইয়াছে (চিত্র 2.11)। ধরি, কোষটির তড়িচ্চালক বল এবং আভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে E এবং r।



তড়িচ্চালক বল = E

আভ্যন্তরীণ রোধ = r

চিত্র 2.11

এক্ষেত্রে ধরিয়া লওয়া যাইতে পারে যে, বর্তনীর মোট রোধ হইবে  $(R+r)$ । বর্তনী সংহত (closed) করিলে যদি ইহাতে t তড়িৎ-প্রবাহ চলে তাহা হইলে লেখা যায়,

$$I = \frac{E}{R+r}, \text{ কারণ বর্তনীর মোট রোধ} = R+r$$

অতএব,  $E = IR + Ir = V + Ir$ , এখানে  $V =$  দুই তড়িদ্বারের বিভব-প্রভেদ এবং  $Ir =$  আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন। সুতরাং লেখা যায়,

কোষের তড়িচ্চালক বল (E) = কোষের দুই তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্য (V) + আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন (Ir) ... (2.6)

আভ্যন্তরীণ বিভব-পতনকে লুপ্ত ভোল্ট (lost volt)-ও বলা হয়। সমীকরণ (2.6) হইতে দেখা যাইতেছে যে,  $I=0$  হইলে  $E=V$  হইবে। অর্থাৎ, যখন বর্তনীতে কোন তড়িৎ-প্রবাহ নাই তখন কোষের তড়িচ্চালক বল উহার দুই তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্যের সমান। এইজন্য তড়িচ্চালক বলকে খোলা-বর্তনী ভোল্টেজ (open circuit voltage)-ও বলা হয়।

কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের ভূমিকা : উপরের আলোচনা হইতে বুঝা যাইতেছে যে, কোষের দুই তড়িদ্বারের মধ্যে একটি রোধ যুক্ত করিলে উহার মধ্য দিয়া যে তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে তাহা কেবলমাত্র এই রোধ এবং কোষের তড়িচ্চালক বলের উপর নির্ভর করে না, কোষটির আভ্যন্তরীণ রোধের উপরও নির্ভর করে। কোন কোষ হইতে সর্বোচ্চ যে তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায় তাহার মানও কোষের আভ্যন্তরীণ রোধের উপর নির্ভর করে। কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ যত কম হইবে উহা হইতে তত বেশি তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়।

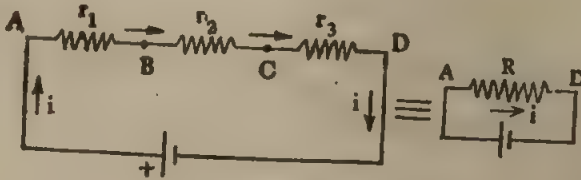
লেক্সল্যান কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ  $1\Omega$  কিংবা তদপেক্ষা বেশি হয় বলিয়া ইহা হইতে  $1.4$  অ্যাম্পিয়ারের বেশি মানের তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায় না। কিন্তু সপ্তমক কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ  $0.01$  ওহ্ম কিংবা তদপেক্ষা কম হয় বলিয়া ইহা হইতে অতি উচ্চ মানের তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়।

## 2.12 তুল্য রোধ (Equivalent resistance)

তড়িৎ-বর্তনীতে অনেক সময় একাধিক রোধ একসঙ্গে ব্যবহার করিতে হয়। ইহারা সম্মিলিতভাবে বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ ও বিভব-বৈষম্যের বণ্টন (distribution) নির্ধারণ করে। কোন বর্তনীর দুই বিন্দুতে একাধিক রোধ যুক্ত থাকিলে উহাদের পরিবর্তে যদি এমন একটি রোধ পাওয়া যায় যাহাকে উক্ত দুই বিন্দুতে স্থাপন করিলে বর্তনীতে একই প্রবাহ এবং ঐ দুই বিন্দুর বিভব-বৈষম্য একই থাকে তবে ঐ রোধকে উক্ত রোধগুলি তুল্য রোধ বলা হয়। একাধিক রোধকে মূলত দুই প্রকার সমবায়ে যুক্ত করা যায়, যথা—(i) শ্রেণী-সমবায় (combination in series) ও (ii) সমান্তরাল-সমবায় (combination in parallel)।

(i) শ্রেণী-সমবায় : মনে করা যাক, AB, BC, CD তিনটি পরিবাহী। ইহাদের রোধ যথাক্রমে  $r_1$ ,  $r_2$  এবং  $r_3$ । এই রোধ তিনটিকে A এবং D বিন্দুর মধ্যে পর পর যুক্ত করা রহিয়াছে (চিত্র 2.12)। A এবং D প্রান্তে একটি তড়িৎ-

কোষের দুই তড়িদ্বার যোগ করিলে বর্তনী সংহত (closed) হইবে। এই অবস্থায়  $r_1$ ,  $r_2$ , এবং  $r_3$  রোধগুলির মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে। রোধের এইরূপ বিন্যাসকে শ্রেণীবদ্ধ রোধ-সমবায় বলা হয়। এমন একটি রোধ  $R_s$  নির্ণয় করিতে হইবে যাহা উপরি-উক্ত তিনটি রোধের পরিবর্তে A ও D বিন্দুর মধ্যে যুক্ত করিলে বর্তনীতে একই মাত্রার তড়িৎ-প্রবাহ বাইবে এবং A ও D বিন্দুতে একই বিভব-বৈষম্য বজায় থাকিবে।



চিত্র 2.12

ধরা যাক, A, B, C এবং D বিন্দুর তড়িৎ-বিভব যথাক্রমে  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$  এবং  $V_D$ । A-বিন্দুকে তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক তড়িদ্বারের সহিত এবং D-বিন্দুকে ঋণাত্মক তড়িদ্বারের সহিত যুক্ত করা হইয়াছে। সুতরাং, এক্ষেত্রে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ A হইতে D-এর দিকে। মনে করি, তড়িৎ-প্রবাহের মান  $i$ ।

ওহমের সূত্রানুসারে লেখা যায়,

$$V_A - V_B = ir_1 \quad \dots (i)$$

$$V_B - V_C = ir_2 \quad \dots (ii)$$

$$V_C - V_D = ir_3 \quad \dots (iii)$$

উপরের সমীকরণ তিনটি যোগ করিয়া পাই,

$$V_A - V_D = i(r_1 + r_2 + r_3) \quad \dots (iv)$$

এখন, উপরি-উক্ত রোধ তিনটির পরিবর্তে  $R_s$ -মানের একটি রোধকে A এবং D বিন্দুর মধ্যে যুক্ত করিলে যদি প্রবাহমাত্রা এবং বিভব-বৈষম্য ( $V_A - V_D$ ) অপরিবর্তিত থাকে তাহা হইলে,  $V_A - V_D = iR_s$   $\dots (v)$

এখানে  $R_s$ -হইল শ্রেণীবদ্ধ রোধগুলির তুল্য রোধ (equivalent resistance)।

সমীকরণ (iv) ও (v) হইতে লেখা যায়,

$$iR_s = i(r_1 + r_2 + r_3) \quad \dots (vi)$$

$$\text{বা, } R = r_1 + r_2 + r_3 \quad \dots (2.7)$$

অনুরূপভাবে,  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ —এই  $n$ -সংখ্যক রোধকে শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত করিলে উহাদের তুল্য রোধের মান হইবে,

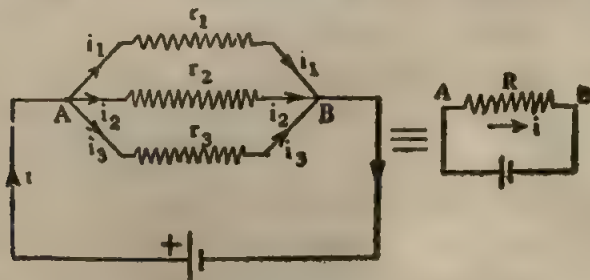
$$R_s = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n \quad \dots (2.8)$$

$$\text{গণিতের সংক্ষিপ্ত ভাষায় লেখা যায়, } R_s = \sum_{i=1}^n r_i \quad \dots (2.9)$$



অতএব সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, স্রোতগণিতভাবে যুক্ত একাধিক রোধের তুল্য রোধ উক্ত রোধসমূহের যোগফলের সমান।

(i) সমান্তরাল-সমবায় :  $r_1$ ,  $r_2$  এবং  $r_3$  রোধবিশিষ্ট তিনটি পরিবাহীকে A ও B বিন্দুর মধ্যে এমনভাবে যুক্ত করা হইল যাহাতে প্রতিটি পরিবাহীর একপ্রান্ত A-বিন্দুতে এবং অপর প্রান্ত B-বিন্দুতে যুক্ত হয় (চিত্র 2.13)। এইরূপভাবে



চিত্র 2.13

যুক্ত রোধ সমবায়কে সমান্তরাল-সমবায় বলে। কোন ভাঙিৎ-কোষের ধনাত্মক ভাঙিদ্বারকে A বিন্দুর সহিত এবং ঋণাত্মক ভাঙিদ্বারকে B বিন্দুর সহিত যুক্ত করিলে A বিন্দু হইতে B বিন্দুর দিকে ভাঙিৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিবে। মনে করি, মূল বর্তনীর ভাঙিৎ-প্রবাহের মান  $i$ । এই প্রবাহ A-বিন্দুতে আসিয়া তিনভাগে বিভক্ত হইয়া যায় এবং ঐ তিন বিভক্ত অংশ B-বিন্দুতে আসিয়া পুনরায় মিলিত হয়। মনে করি,  $r_1$ ,  $r_2$  ও  $r_3$  রোধ তিনটির মধ্য দিয়া যথাক্রমে  $i_1$ ,  $i_2$  ও  $i_3$  প্রবাহ চলিতেছে। সুতরাং লেখা যায়,

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \quad \dots \quad (i)$$

মনে করি, A এবং B বিন্দুর বিভব যথাক্রমে  $V_A$  এবং  $V_B$ ।

$$\text{ওহ্মের সূত্রানুসারে, } i_1 = \frac{V_A - V_B}{r_1} \quad \dots \quad (ii)$$

$$i_2 = \frac{V_A - V_B}{r_2} \quad \dots \quad (iii)$$

$$\text{এবং } i_3 = \frac{V_A - V_B}{r_3} \quad \dots \quad (iv)$$

উপরের সমীকরণ তিনটি যোগ করিয়া পাই,

$$i_1 + i_2 + i_3 = (V_A - V_B) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) \quad \dots \quad (v)$$

সমীকরণ (i) ও (v) হইতে লেখা যায়,

$$i = (V_A - V_B) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) \quad \dots \quad (vi)$$

এখন, A ও B বিন্দুর মধ্যে  $r_1$ ,  $r_2$  এবং  $r_3$  রোধ তিনটির পরিবর্তে একটি রোধ  $R_p$  যোগ করিলে যদি তড়িৎ-প্রবাহ  $i$  এবং উক্ত দুই বিন্দুর বিভব-বৈষম্য ( $V_A - V_B$ ) অপরিবর্তিত থাকে তাহা হইলে  $R_p$ -ই হইবে উক্ত রোধ তিনটির তুল্য রোধ। অর্থাৎ, তুল্য রোধের মান  $R_p$  হইলে লেখা যায় যে,

$$i = \frac{V_A - V_B}{R_p} \quad \dots \quad (vii)$$

∴ সমীকরণ (vi) ও (vii) হইতে পাই,

$$\frac{(V_A - V_B)}{R_p} = (V_A - V_B) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right)$$

$$\text{বা, } \frac{1}{R_p} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \quad \dots \quad (2.10)$$

অনুরূপভাবে,  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ —এই  $n$ -সংখ্যক রোধকে সমান্তরালভাবে যুক্ত করিলে উহাদের তুল্য রোধ  $R$ -এর মান হইবে নিম্নরূপ :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n} \quad \dots \quad (2.11)$$

$$\text{গণিতের সংক্ষিপ্ত ভাষায় লেখা যায়, } \frac{1}{R_p} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i} \quad \dots \quad (2.12)$$

সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, সমান্তরালভাবে যুক্ত একাধিক পরিবাহীর তুল্য রোধের অন্যান্যক (reciprocal) উক্ত পরিবাহীগণের রোধের অন্যান্যকের যোগফলের সমান। সহজেই প্রমাণ করা যায় যে, সমান্তরালভাবে যুক্ত একাধিক রোধের তুল্য রোধ ঐ রোধগুলির প্রত্যেকটি অপেক্ষা কম।

মনে করি,  $r_1$  এবং  $r_2$  রোধ দুইটি সমান্তরালভাবে যুক্ত হইয়াছে। ইহাদের তুল্য রোধ  $r$  হইলে লেখা যায়,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad \text{বা, } R_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad \dots \quad (2.13)$$

$$\text{বা, } R_p = \frac{r_1}{1 + (r_1/r_2)} \quad \dots \quad (viii)$$

সমীকরণ (viii)-এর ডানপাশের রাশির হরের মান 1 অপেক্ষা বেশি বলিয়া লেখা যায়  $R_p < r_1$  ... (ix)

$$\text{অনুরূপভাবে, সমীকরণ (2.13) হইতে লেখা যায়, } R_p = \frac{r_2}{1 + (r_2/r_1)} \quad (x)$$

$$\text{সমীকরণ (x) হইতে লেখা যায়, } R_p < r_2 \quad \dots \quad (xi)$$

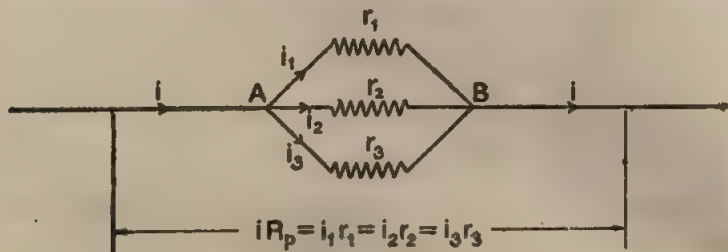
(ix) এবং (xi) হইতে দেখা যাইতেছে যে, তুল্য রোধের মান  $r_1$  এবং  $r_2$ —ইহাদের উভয়ের মান অপেক্ষা কম।

### 2.13 সমান্তরাল সমবাহুরে যুক্ত বিভিন্ন রোধের প্রবাহমাত্রা

সমান্তরাল সমবাহুরে যুক্ত বিভিন্ন রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের সহিত বর্তনীর মূল-প্রবাহের সম্পর্ক কী তাহা সহজেই প্রতিষ্ঠা করা যায়। আমরা জানি, A এবং B বিন্দুর বিভব-বৈষম্য

$$(V_A - V_B) = i \cdot R_p \quad \dots (2.14)$$

এখানে  $i$ -মূল-প্রবাহ এবং  $R_p$ -সমান্তরাল রোধ সমবাহুরের তুল্য রোধ।



চিত্র 2.13

এখন,  $r_1$ ,  $r_2$  এবং  $r_3$  রোধসম্পন্ন শাখাগুলির মধ্য দিয়া  $i_1$ ,  $i_2$  এবং  $i_3$  তড়িৎ-প্রবাহ গেলে লেখা যায়,

$$\left. \begin{aligned} (V_A - V_B) &= i_1 r_1 \\ (V_A - V_B) &= i_2 r_2 \\ (V_A - V_B) &= i_3 r_3 \end{aligned} \right\} \quad \dots (2.15)$$

(2.14) এবং (2.15) নং সমীকরণ হইতে পাই,

$$\left. \begin{aligned} i_1 r_1 &= i R_p \\ i_2 r_2 &= i R_p \\ i_3 r_3 &= i R_p \end{aligned} \right\} \quad \dots (2.16)$$

$\therefore$  (2.16) নং সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$i_1 = \frac{R_p}{r_1} \times i$$

$$i_2 = \frac{R_p}{r_2} \times i$$

$$i_3 = \frac{R_p}{r_3} \times i$$

অর্থাৎ, সমান্তরাল-সমবাহুরের কোন শাখার তড়িৎ-প্রবাহ

$$= \frac{\text{সমবাহুরের তুল্য রোধ}}{\text{ঐ শাখার রোধ}} \times \text{মূল-প্রবাহ} \quad \dots (2.17)$$

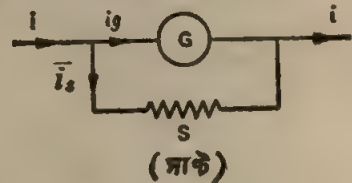
### 2.14 শাণ্ডি (Shunt)

দুইটি রোধ শ্রেণীবদ্ধভাবে সংযুক্ত থাকিলে উহাদের মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ

চলে, কিন্তু রোধগুলি সমান্তরালভাবে যুক্ত থাকিলে মূল প্রবাহ ঐ দুই রোধের মধ্য দিয়া দুইভাবে বিভক্ত হইয়া প্রবাহিত হয়। যে-পরিবাহীর রোধ কম তাহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের মান বেশি এবং যে-পরিবাহীর রোধ বেশি তাহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের মান কম হইবে। অনেক সময়ে মূল প্রবাহকে বিভক্ত করিয়া বিভিন্ন পথে পাঠাইতে হয়। এইরূপ ক্ষেত্রে বর্তনীতে সমান্তরাল রোধ ব্যবহার করা হয়। উদাহরণস্বরূপ সার্কটের ব্যবহারের এখা উল্লেখ করা যায়।

গ্যালভানোমিটার, অ্যামিটার ইত্যাদি সুবেদী যন্ত্রের মধ্য দিয়া একটি নির্দিষ্ট মানের বেশি তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ঐ যন্ত্র ক্ষতিগ্রস্ত হইতে পারে, এমনকি অকেজো হইয়া যাইতে পারে। যে-সমস্ত বর্তনীতে মূল প্রবাহ ঐ নির্দিষ্ট মানের বেশি সেই সকল বর্তনীতে অনুরূপ যন্ত্র ব্যবহার করিতে হইলে উহাদের সহিত সমান্তরালভাবে যুক্ত একটি রোধ থাকে। ইহাতে মূল প্রবাহ দুইভাগে বিভক্ত হইয়া যায়—একভাগ যন্ত্রের মধ্য দিয়া এবং অন্য ভাগ উহার সমান্তরালভাবে যুক্ত রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়। এই সমান্তরাল রোধকে সার্ট বলা হয়। সার্টের রোধ বাড়াইয়া কমানাইয়া গ্যালভানোমিটারের প্রবাহমাত্রা কমান-বাড়ান যায়। উপযুক্ত মানের সার্ট ব্যবহার করিয়া যন্ত্রের মধ্য দিয়া প্রবাহমাণ তড়িৎ-প্রবাহের মানকে বিপদ-সীমার নীচে রাখা যায়। সার্টের রোধ যত কম হইবে মূল প্রবাহের তত বেশি অংশ সার্ট দিয়া প্রবাহিত হইবে অর্থাৎ যন্ত্রের মধ্য দিয়া তত কম মাত্রায় তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে।

2.14 নং চিত্রে সার্টযুক্ত একটি গ্যালভানোমিটার দেখান হইয়াছে। মনে করি, গ্যালভানোমিটারটির আন্তর্যরীণ রোধ  $G$ , ইহার সহিত যুক্ত সার্টের রোধ  $S$  (ধরি) এবং বর্তনীর মূল প্রবাহ  $i$ । এই প্রবাহ দুইভাগে বিভক্ত হইয়া একভাগ গ্যালভানো-মিটার দিয়া এবং অন্য ভাগ সার্টের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইতেছে।



চিত্র 2.14

মনে করি, গ্যালভানোমিটারের তড়িৎ-প্রবাহ  $= i_g$  এবং সার্টের তড়িৎ-প্রবাহ  $= i_s$ ,

$$\text{সুতরাং লেখা যায়, } i = i_g + i_s \quad \dots \quad (2.18)$$

গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের সহিত সার্টের দুই প্রান্ত যুক্ত আছে বলিয়া লেখা যায়, সার্টের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য = গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য।

$$\therefore i_s S = i_g G \quad (\because V = IR)$$

$$\text{বা, } \frac{i_g}{i_s} = \frac{S}{G} \quad \text{বা, } 1 + \frac{i_g}{i_s} = 1 + \frac{S}{G}$$

$$\text{বা, } \frac{i_s + i_g}{i_s} = \frac{G + S}{G}$$



$$\text{বা, } \frac{i}{i_s} = \frac{G+S}{G} \text{ [ সমীকরণ (2.18) হইতে ]}$$

$$\text{বা, } i_s = \frac{G}{G+S} \cdot i \quad \dots (2.19)$$

$$\frac{\text{স্মার্ট-প্রবাহ}}{\text{মূল-প্রবাহ}} = \frac{\text{গ্যালভানোমিটার-রোধ}}{\text{গ্যালভানোমিটার-রোধ} + \text{স্মার্ট-রোধ}}$$

অনুরূপভাবে দেখান যায়, গ্যালভানোমিটারের প্রবাহমাত্রা

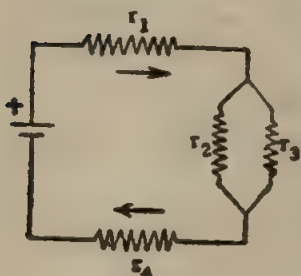
$$i_g = \frac{S}{S+G} \cdot i \quad \dots (2.20)$$

$$\text{বা, } \frac{\text{গ্যালভানোমিটার-প্রবাহ}}{\text{মূল-প্রবাহ}} = \frac{\text{স্মার্ট-রোধ}}{\text{স্মার্ট-রোধ} + \text{গ্যালভানোমিটার-রোধ}}$$

## 2.15 মিশ্র বর্তনীর তুল্য রোধ

(Equivalent resistance of a mixed circuit)

তড়িৎ-বর্তনীতে অনেক সময় একাধিক রোধ কেবলমাত্র শ্রেণী-সমবায়ে বা কেবলমাত্র সমান্তরাল-সমবায়ে না থাকিয়া একটি মিশ্র সমবায়ে থাকিতে পারে। 2.15 নং চিত্রে এইরূপ একটি বর্তনী দেখান হইয়াছে। স্পষ্টতই, তড়িৎ-কোষের দুই প্রান্তের মধ্যে তিনটি রোধ শ্রেণীবদ্ধভাবে যোগ করা হইয়াছে—



চিত্র 2.15

(i)  $r_1$ , (ii)  $r_4$  এবং (iii)  $r_2$  ও  $r_3$

রোধের সমান্তরাল-সমবায়ের তুল্য রোধ।

এখন,  $r_2$  এবং  $r_3$ -এর সমান্তরাল-সমবায়ের

তুল্য রোধ,  $r_{eq} = \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3}$  [ সমীকরণ (2.13) হইতে ]

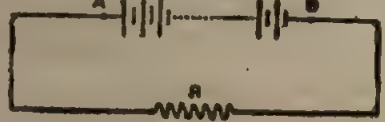
$$\text{সুতরাং, মিশ্র বর্তনীর মোট রোধ} = r_1 + r_4 + r_{eq} = r_1 + r_4 + \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3}$$

## 2.16 তড়িৎ-কোষের সমবায়ে (Combination of cells)

প্রয়োজনবোধে অনেক সময় একাধিক তড়িৎ-কোষকে একত্রে ব্যবহার করিতে হয়। তড়িৎ-কোষের তিন প্রকার সমবায়ে হইতে পারে, যথা—(i) শ্রেণী-সমবায়ে (series combination), (ii) সমান্তরাল-সমবায়ে (parallel combination), (iii) মিশ্র সমবায়ে (mixed combination)।

(i) শ্রেণী-সমবায়ে: যখন কোষগুলি পরপর এমনভাবে যুক্ত করা হয় যে, পাশাপাশি যুক্ত কোষগুলির বিপরীত মেৰুগুলি পরস্পরের সহিত যুক্ত থাকে তাহা হইলে

এইরূপ সমবায়কে বলা হয় শ্রেণী-সমবায়। 2.16 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে যে, প্রথম কোষের ঋণাত্মক মেৰু দ্বিতীয় কোষের ধনাত্মক মেৰুর সহিত যুক্ত, দ্বিতীয় কোষের ঋণাত্মক মেৰু তৃতীয় কোষের ধনাত্মক মেৰুর সহিত যুক্ত, ... ইত্যাদি। প্রথম কোষের ধনাত্মক মেৰু এবং সর্বশেষ কোষের



চিত্র 2.16

ঋণাত্মক মেৰুর সহিত বহির্বর্তনী যুক্ত করা হয়। মনে করি, কোষগুলির তড়িচ্চালক বল ও আভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে  $E$  এবং  $r$ ।

সমবায়ের মোট  $n$ -সংখ্যক কোষ আছে বলিয়া মোট তড়িচ্চালক বল  $= nE$   
মোট আভ্যন্তরীণ রোধ  $= nr$

বর্তনীর মোট রোধ  $=$  বহির্বর্তনীর রোধ  $+$  আভ্যন্তরীণ রোধ  $= R + nr$

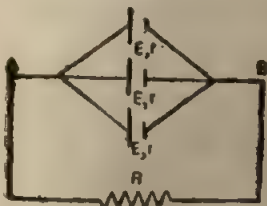
সুতরাং, ওহ্মের সূত্রানুসারে লেখা যায়,

$$i = \frac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{nE}{R + nr} \quad \dots \quad (2.21)$$

(a) যখন  $R > nr$ , তখন  $i = \frac{nE}{R}$ ; অর্থাৎ, বহির্বর্তনীতে রোধ মোট আভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষা অনেক বেশি হইলে বহির্বর্তনীতে যে-প্রবাহমাত্রা পাওয়া যাইবে তাহা একটি কোষ-কর্তৃক সরবরাহিত প্রবাহের  $n$  গুন।

(b) যখন  $nr > R$ , তখন  $i = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$ ; অর্থাৎ, মোট আভ্যন্তরীণ রোধ বহির্বর্তনীর রোধ অপেক্ষা অনেক বেশি হইলে যে-প্রবাহমাত্রা পাওয়া যাইবে তাহা কার্ধত একটি কোষ-কর্তৃক সরবরাহিত প্রবাহমাত্রার সমান।

(ii) সমান্তরাল-সমবায় (Parallel combination): যে-সমবায়ের সকল



চিত্র 2.17

কোষের ধনাত্মক মেৰুগুলি একত্রে এবং ঋণাত্মক মেৰুগুলি একত্রে যুক্ত করা হয় তাহাকে সমান্তরাল-সমবায় বলা হয়। A-বিন্দুতে কোষগুলির ধনাত্মক মেৰু এবং B-বিন্দুতে কোষগুলির ঋণাত্মক মেৰু যুক্ত করা হইয়াছে (চিত্র 2.17)। A এবং B-বিন্দুর সহিত বহির্বর্তনীর দুই প্রান্ত যুক্ত করা হইল। মনে করি, কোষগুলির তড়িচ্চালক বল ও

আভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে  $E$  এবং  $r$ ।

A- এবং B-বিন্দুতে ক্রিয়াশীল কোষগুলির কার্ধকর তড়িচ্চালক বল  $= E$

কোষগুলি সমান্তরাল-সমবায়ের যুক্ত বলিয়া ইহাদের আভ্যন্তরীণ রোধগুলিও

সমান্তরাল-সমবায়ে আছে। সমবায়ে  $n$ -সংখ্যক কোষ থাকিলে এই সমবায়ের কার্যকর আভ্যন্তরীণ রোধ  $= r/n$

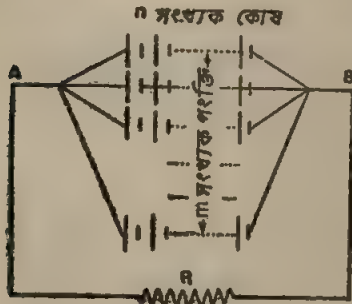
সুতরাং, বর্তনীর মোট রোধ  $= R + \frac{r}{n}$

$$\begin{aligned} \text{কাজেই, বহির্বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ} &= \frac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}} \\ &= \frac{E}{R + (r/n)} = \frac{nE}{nR + r} \quad \dots \quad (2.22) \end{aligned}$$

(a) যখন  $R > \frac{r}{n}$ , তখন  $i = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$  - একটি কোষ-কর্তৃক সরবরাহিত তড়িৎ-প্রবাহ।

(b) যখন  $\frac{r}{n} > R$ , তখন  $i = \frac{nE}{r} =$  একটি কোষ-কর্তৃক সরবরাহিত সর্বোচ্চ তড়িৎ-প্রবাহের  $n$  গুণ।

(iii) মিশ্র সমবায় (Mixed combination): শ্রেণী-সমবায় যুক্ত কতকগুলি কোষ-নির্মিত পঙ্ক্তি (row) পরস্পর সমান্তরাল-সমবায়ে যুক্ত হইলে যে-সমবায় পাওয়া যায় তাহাকে কোষের মিশ্র সমবায় বলা হয়। মনে করি, প্রতিটি পঙ্ক্তিতে  $n$ -সংখ্যক কোষ রহিয়াছে। এইরূপ  $m$ -সংখ্যক পঙ্ক্তি পরস্পর সমান্তরালভাবে যুক্ত আছে (চিত্র 2.18)। ধরি, প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল এবং আভ্যন্তরীণ



চিত্র 2.18

রোধ যথাক্রমে  $E$  এবং  $r$ । কাজেই, প্রতিটি পঙ্ক্তির মোট তড়িচ্চালক বল  $= nE$ । ইহাই A- এবং B-বিন্দুতে ক্রিয়াশীল তড়িচ্চালক বল।

প্রতিটি পঙ্ক্তির আভ্যন্তরীণ রোধ  $= nr$ ;  
এইরূপ  $m$ -পঙ্ক্তির সমান্তরাল সমবায়ের মোট রোধ  $= nr/m$

বহির্বর্তনীর রোধ  $R$  হইলে ইহার মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে তাহার মান

$$i = \frac{nE}{R + (nr/m)} = \frac{mnE}{mR + nr} \quad \dots \quad (2.23)$$

তড়িৎ-প্রবাহের সর্বোচ্চ মান : মিশ্র সমবায়ে কোষগুলিকে কীভাবে সাজাইলে বহির্বর্তনীতে প্রবাহমাত্রার মান সর্বোচ্চ হয় নিয়ে তাহা নির্ণয় করা হইল।

সমীকরণ 2.23 হইতে পাই,

$$i = \frac{mnE}{mR + nr} = \frac{mnE}{(\sqrt{mR} - \sqrt{nr})^2 + 2\sqrt{mnRr}}$$

$i$ -এর মান সর্বোচ্চ হইতে গেলে হয় (denominator)-এর মান ন্যূনতম হওয়া প্রয়োজন। কিন্তু  $2\sqrt{mnRr}$  ধুবক, কেননা  $R$  এবং  $r$  উভয়েই ধুবক। তাহা ছাড়া  $mn$ =মোট কোষের সংখ্যা। কাজেই  $i$ -এর মান ন্যূনতম হইবার শর্ত হইল

$$\sqrt{mR} - \sqrt{nr} = 0$$

$$\text{বা, } R = \frac{n}{m} r \quad \dots (2.24)$$

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, বহির্বর্তনীর রোধ ( $R$ ) যখন কোষ-সমবায়ের আভ্যন্তরীণ রোধ ( $nr/m$ )-এর সমান হয় তখন তড়িৎ-প্রবাহের মান সর্বোচ্চ হইবে।

● কোন শর্ত পালিত হইলে  $n$ -সংখ্যক সদৃশ কোষকে শ্রেণী-সমবায়ের এবং সমান্তরাল-সমবায়ের একটি তারের সহিত যুক্ত করিলে দুই ক্ষেত্রেই তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের মান সমান হয়?

কোষগুলিকে শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত করিলে তারের মধ্য দিয়া যে তড়িৎ-প্রবাহ যার উহার মান

$$i_1 = \frac{nE}{R + nr} \quad \dots (i)$$

এখানে  $R$ =তারটির রোধ এবং  $r$ =প্রতিটি কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ এবং  $E$  হইল প্রতিটি তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল।

কোষগুলিকে সমান্তরাল-সমবায়ের যুক্ত করিলে তারের মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ যার উহার মান

$$i_2 = \frac{E}{R + r/n} \quad \dots (ii)$$

কাজেই, সমান্তরাল-সমবায়ের এবং শ্রেণী-সমবায়ের একই প্রবাহ গেলে, অর্থাৎ  $i_1 = i_2$  হইলে পাই,

$$\frac{nE}{R + nr} = \frac{E}{R + r/n}$$

$$\text{বা, } nR + r = R + nr$$

$$\text{বা, } R(n-1) = r(n-1)$$

এখন,  $n \neq 1$  বলিয়া লেখা যায়,  $R = r$

কাজেই, দেখা যাইতেছে যে, তারটির রোধ কোষগুলির প্রতিটির আভ্যন্তরীণ রোধের সমান হইলে কোষগুলিকে শ্রেণী-সমবায়ের এবং সমান্তরাল-সমবায়ের যুক্ত করিলে উভয় ক্ষেত্রে তারের মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে।

## 2.17 কোষের শ্রেণী-সমবায় এবং সমান্তরাল-সমবায়ের সুবিধা-অসুবিধা

একাধিক কোষকে শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত করিয়া ঐ কোষ-সমবায়ের সাহায্যে কোন বহির্বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ঐ তড়িৎ-প্রবাহ কোষ-সমবায়ের প্রতিটি কোষের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়। ইহার ফলে প্রতিটি কোষেই উহার আভ্যন্তরীণ রোধের দ্বারা বর্ধিত পরিমাণ শক্তির অপচয় হয়। এই পরিপ্রেক্ষিতে কোষের শ্রেণী-



সমবায়ের তুলনায় কোষের সমান্তরাল সমবায়ই বেশি সুবিধাজনক। ইহার কারণ এই যে, কোষের সমান্তরাল-সমবায় যখন কোন বহির্বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠায় তখন ঐ প্রবাহের এক ভগ্নাংশমাত্র প্রতিটি কোষের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়। ইহাতে অভ্যন্তরীণ রোধের দ্বারা প্রতিটি কোষে শক্তির অপচয় তুলনামূলকভাবে কম হয়।

একাধিক কোষকে সমান্তরাল-সমবাসে যুক্ত করিতে হইলে প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল সমান হওয়াই বাঞ্ছনীয়। তাহা না হইলে বহির্বর্তনীর সঙ্গে যুক্ত না থাকিলেও অসম তড়িচ্চালক বলের ক্রিয়ায় কোষগুলির মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিবে। ইহাতে কোষগুলির অপচয় ঘটে। শ্রেণী-সমবাসে এই অসুবিধা নাই, কারণ অসমান তড়িচ্চালক বলসম্পন্ন একাধিক কোষকে শ্রেণী-সমবাসে যুক্ত করিলেও বহির্বর্তনী খোলা থাকিলে কোষগুলির মধ্য দিয়া কোন তড়িৎ-প্রবাহ যায় না।

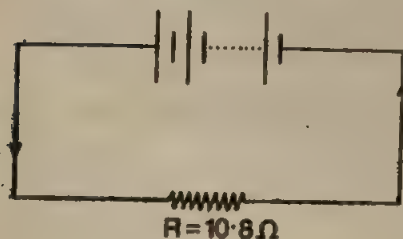
### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রয়োগসমূহ •

**উদাহরণ 2.9** 12 V তড়িচ্চালকবলবিশিষ্ট এবং  $1.2 \Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি ব্যাটারীকে  $10.8 \Omega$  রোধের দুই প্রান্তে যুক্ত করা আছে। ইহাতে বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ কী হইবে? ব্যাটারীর অভ্যন্তরীণ বিভব-পতন এবং কোষের দুই তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্যই বা কত হইবে?

**সমাধান :** 2.19 নং চিত্রে আলোচ্য বর্তনীটি দেখান হইয়াছে।

$$E = 12 \text{ V}$$

$$r = 1.2 \Omega$$



চিত্র 2.19

বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ

$$I = \frac{\text{তড়িচ্চালক বল (E)}}{\text{বর্তনীর মোট রোধ (R + r)}} \dots (i)$$

এখানে, তড়িচ্চালক বল,  $E = 12 \text{ V}$

বহির্বর্তনীর রোধ,  $R = 10.8 \Omega$

এবং অভ্যন্তরীণ রোধ,  $r = 1.2 \Omega$

সমীকরণ (i) হইতে পাই,

$$I = \frac{12}{10.8 + 1.2} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

ব্যাটারীর অভ্যন্তরীণ বিভব-পতন  $= I.r = 1 \times 1.2 \text{ V} = 1.2 \text{ V}$

কাজেই, ব্যাটারীর দুই তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্য  $= E - Ir$

$$= (12 - 1.2) \text{ V} = 10.8 \text{ V}$$

**উদাহরণ 2.10** দুইটি কুণ্ডলীর শ্রেণীবদ্ধ সমবায়ের ও সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য রোধ যথাক্রমে 12 ওহম এবং  $\frac{5}{3}$  ওহম। কুণ্ডলী দুইটির রোধ কত?

[উচ্চ মাধ্যমিক (রিপদূরা), 1980, জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1972]

**সমাধান :** মনে করি কুণ্ডলী দুইটির রোধ  $r_1 \Omega$  এবং  $r_2 \Omega$ । সুতরাং প্রশ্নের শর্তানুসারে,

$$r_1 + r_2 = 12 \dots (i)$$

$$\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = \frac{5}{3} \dots (ii)$$

$$(i) \text{ ও } (ii) \text{ হইতে পাই, } r_1 r_2 = 20 \dots (iii)$$

আবার, সমীকরণ (i) হইতে,  $r_2 = 12 - r_1$  ... (iv)

সমীকরণ (iii) ও (iv) হইতে লেখা যায়,  $r_1 (12 - r_1) = 20$

$$\text{বা, } r_1^2 - 12r_1 + 20 = 0 \quad \text{বা, } (r_1 - 10)(r_1 - 2) = 0$$

$$\therefore r_1 = 10 \text{ বা, } 2 \quad \dots (v)$$

সমীকরণ (iv) এবং (v) হইতে পাই,  $r_2 = 2$  বা 10

$\therefore$  কুণ্ডলীর রোধের মান 10 ওহ্ম এবং 2 ওহ্ম।

**উদাহরণ 2.11** 10 volts তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট এবং 1 ohm আভ্যন্তরীণ রোধ-বিশিষ্ট একটি তড়িৎ-কোষকে 3  $\Omega$ , 5  $\Omega$  এবং 8  $\Omega$  রোধের সমান্তরাল-সমবায়ের সহিত যুক্ত করা হইল। প্রতিটি রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

**সমাধান :** সমান্তরাল-সমবায়ের তুল্য রোধ  $R_{eq}$  হইলে লেখা যায়,

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{8} = \frac{79}{120} \Omega^{-1}$$

$$\text{বা, } R_{eq} = \frac{120}{79} \Omega$$

ওহ্মের সূত্রানুসারে, মূলপ্রবাহ  $i$

$$= \frac{E}{R_{eq} + r} = \frac{10}{\frac{120}{79} + 1} \text{ A} = \frac{790}{199} \text{ A}$$

সমান্তরাল-সমবায়ের দুই প্রান্তের অর্থাৎ A-এবং B-বিন্দুর (চিত্র 2.20) বিভব-বৈষম্য,

$$V = V_A - V_B$$

$$= i \times R_{eq} = \frac{790}{199} \times \frac{120}{79} = \frac{1200}{199} \text{ volts}$$

$\therefore$  3  $\Omega$  রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহমাত্রা

$$i_1 = \frac{V_A - V_B}{3} = \frac{1200}{199 \times 3} = \frac{400}{199} \text{ A}$$

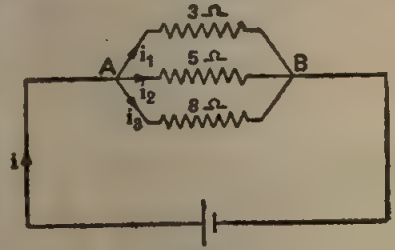
5  $\Omega$  রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহমাত্রা

$$i_2 = \frac{V_A - V_B}{5} = \frac{1200}{199 \times 5} = \frac{240}{199} \text{ A}$$

এবং 8  $\Omega$  রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহমাত্রা

$$i_3 = \frac{V_A - V_B}{8} = \frac{1200}{199 \times 8} = \frac{150}{199} \text{ A}$$

**উদাহরণ 2.12** ABCD একটি বর্গাকার তার। ইহার সকল বাহুর রোধ 8 ওহ্ম। ইহার D এবং C বিন্দুর সহিত 20 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট একটি ব্যাটারী যুক্ত করা হইল। বর্তমান মূল প্রবাহের মান কত ?



$E = 10 \text{ Volts}$

$r = 1 \text{ ohm}$

চিত্র 2.20

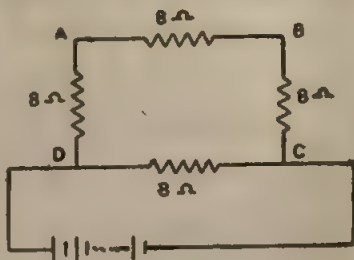
**সমাধান :** 2.21 নং চিত্রানুসারে, DA, AB এবং BC বাহুর রোধ পরস্পরের সহিত শ্রেণী-সমবাহুরে আছে। সুতরাং, ইহাদের তুল্য রোধ  $= 8\Omega + 8\Omega + 8\Omega = 24\Omega$ ; এই তিন বাহুর রোধের সহিত DC বাহুর রোধ সমান্তরাল-সমবাহুরে যুক্ত আছে। মনে করি, বর্তনীর তুল্য রোধ  $= R$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{24} + \frac{1}{8}$$

$$\text{বা, } R = 6\Omega$$

$\therefore$  মূল প্রবাহ  $= \frac{\text{ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল}}{\text{বর্তনীর তুল্য রোধ}}$

$$= \frac{20}{6} \text{ A} = 3.33 \text{ A}$$



চিত্র 2.21

**উদাহরণ 2.13** বর্তনী খোলা অবস্থায় একটি ব্যাটারী 6 volt তড়িচ্চালক বল দেয়। এখন ঐ ব্যাটারীটি 2 A তড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন করে তখন ইহার দুই মেনুর বিভব-বৈষম্য 4 volts হইলে ইহার আভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

**সমাধান :** মনে করি, ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ  $r$  ohm

শর্তানুসারে, ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল,  $E = 6$  volts

বর্তনীতে 2 A তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিলে ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন

$= \text{তড়িৎ-প্রবাহ (I)} \times \text{আভ্যন্তরীণ রোধ (r)} = 2r$  volts

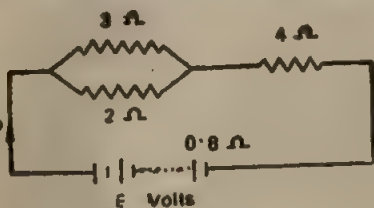
এই সময় ব্যাটারীর দুই মেনুর বিভব-বৈষম্য,  $V = E - Ir = (6 - 2r)$  volts

শর্তানুসারে,  $V = 4$  volts বলিয়া লেখা যায়,  $4 = 6 - 2r$

$$\text{বা, } r = 1 \text{ ohm}$$

**উদাহরণ 2.14**  $3\Omega$  এবং  $2\Omega$  মানের দুইটি রোধকে সমান্তরালভাবে যুক্ত করিয়া উহাদের সহিত শ্রেণীতে  $4\Omega$  মানের একটি রোধ যুক্ত করা হইল (চিত্র 2.22)। এই রোধ সমবাহুরকে একটি ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করিলে বর্তনীতে বে-মূল প্রবাহের সৃষ্টি হয় তাহার মান 0.5 অ্যাম্পিয়ার। ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ  $0.8\Omega$  হইলে ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল এবং উহার দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের মান নির্ণয় কর।

**সমাধান :**  $3\Omega$  এবং  $2\Omega$  রোধ পরস্পর সমান্তরালভাবে যুক্ত থাকিলে উহাদের তুল্য রোধ ( $R_{eq}$ ) নির্ণয়ের সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়,



চিত্র 2.22

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{2}$$

$$\text{বা, } R_{eq} = 1.2\Omega$$

এই সমান্তরাল-সমবাহুরের সহিত  $4\Omega$  রোধ শ্রেণীতে যুক্ত রহিয়াছে।

সুতরাং, বহির্বর্তনীর মোট রোধ  $=$

$$(1.2 + 4) \Omega = 5.2 \Omega \quad \text{এবং}$$

ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ  $= 0.8\Omega$

$$\therefore \text{বর্তনীর মোট রোধ} = (5.2 + 0.8)\Omega = 6\Omega$$

ধরি, ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল = E volts

$$\text{শর্তানুসারে, } 0.5 = \frac{E}{\text{বর্তনীর মোট রোধ}} = \frac{E}{6}$$

$$\therefore E = 6 \times 0.5 \text{ volts} = 3 \text{ volts}$$

ব্যাটারির দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য = তড়িচ্চালক বল (E) - আন্তঃপ্রাণ বিভব-পতন ( $Ir$ )  
 $= 3 - 0.5 \times 0.8 = 2.6 \text{ volts}$

**উদাহরণ 2.15** কোন তড়িৎ-প্রবাহী বর্তনীতে  $50\Omega$  রোধের একটি গ্যালভানোমিটারকে  $5 \text{ ohm}$  রোধ দ্বারা সার্কট করা হইল। বর্তনীর প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিতে হইলে বর্তনীতে প্রেরণী-সমবारे কত রোধ যোগ করিতে হইবে? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978]

সমাধান : গ্যালভানোমিটারের রোধ,  $G = 50\Omega$

গ্যালভানোমিটারের রোধ ব্যতীত বর্তনীতে আরও  $R \Omega$  রোধ থাকিলে, সার্কট বৃত্ত করিবার পূর্বে বর্তনীর মোট রোধ,  $R_1 = (50 + R)\Omega$  ... (i)

সার্কটবৃত্ত গ্যালভানোমিটারের তুল্য রোধ  $R_{eq}$  হইলে লেখা যায়,

$$R_{eq} = \frac{S \times G}{S + G} = \frac{5 \times 50}{5 + 50} = \frac{50}{11} \Omega$$

$\therefore$  গ্যালভানোমিটারের সহিত সার্কট বৃত্ত করিলে বর্তনীর মোট রোধ,  $R_2$

$$= \left( R + \frac{50}{11} \right) \Omega \quad \dots (ii)$$

স্পষ্টতই,  $R_1 > R_2$ ; কাজেই, সার্কট বৃত্ত করিলে বর্তনীর মূল প্রবাহ বাড়িয়া যাইবে। বর্তনীর মূল প্রবাহ অপরিবর্তিত রাখিতে হইলে বর্তনীর মোট রোধ অপরিবর্তিত রাখিতে হইবে। অর্থাৎ, বর্তনীতে প্রেরণী-সমবारे যে-রোধ বৃত্ত করিতে হইবে উহার মান  $X \Omega$  হইলে লেখা যায়,

$$R_1 = R_2 + X$$

$$\text{বা, } X = (R_1 - R_2) = 50 - \frac{50}{11} = 45.45 \Omega$$

**উদাহরণ 2.16**  $g \text{ ohm}$  রোধবিশিষ্ট একটি গ্যালভানোমিটারের সহিত কত রোধের সার্কট ব্যবহার করিলে মূল প্রবাহের  $1/n$  গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়?

সমাধান : মনে করি, সার্কটের রোধ =  $S \text{ ohm}$  এবং মূল প্রবাহ =  $I A$

2.22 নং সমীকরণ হইতে দেখা যায়, গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে

$$\text{সাহায্য মান, } I_g = \frac{S}{S + g} \cdot I \quad \dots (i)$$

$I_g$  = গ্যালভানোমিটারের তড়িৎ-প্রবাহ

$$\text{প্রশ্নের শর্তানুসারে, } I_g = \frac{1}{n} \cdot I \quad \dots (ii)$$

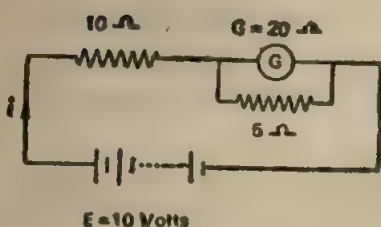
$$(i) \text{ ও } (ii) \text{ হইতে, } \frac{1}{n} \cdot I = \frac{S}{S + g} \cdot I \text{ বা, } S + g = nS \text{ বা, } S(n - 1) = g$$

$$\text{বা, } S = \frac{g}{n - 1} \text{ ohm}$$



**উদাহরণ 2.17** 20 ohms রোধবিশিষ্ট একটি গ্যালভানোমিটারের সহিত 5 ohms সান্ট লাগান আছে। ঐ গ্যালভানোমিটারের সহিত শ্রেণী-সমবारे 10 ohms রোধের একটি কুণ্ডলী এবং 10 ভোল্টের একটি ব্যাটারী যুক্ত করিলে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া কত প্রবাহ বাইবে?

**সমাধান :** বর্তনীর মূল প্রবাহ,  $i = \frac{E}{R + \frac{SG}{S+G}}$



চিত্র 2.22

ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল,  $E = 10$  volts  
 গ্যালভানোমিটারের রোধ,  $G = 20$  ohms  
 এবং সান্টের রোধ,  $S = 5$  ohms  
 ব্যাটারীর সহিত শ্রেণীতে যুক্ত অতিরিক্ত  
 রোধ,  $R = 10$  ohms

$$\therefore i = \frac{10}{10 + \frac{5 \times 20}{5+20}} = \frac{10}{10+4} = \frac{5}{7} \text{ A}$$

সুতরাং, গ্যালভানোমিটারের তড়িৎ-প্রবাহ

$$i_g = \frac{S}{S+G} \cdot i = \frac{5}{5+20} \times \frac{5}{7} \text{ A} = \frac{5}{25} \times \frac{5}{7} \text{ A} = \frac{1}{7} \text{ A}$$

**উদাহরণ 2.18**  $g$  রোধবিশিষ্ট একটি গ্যালভানোমিটারের সহিত  $s$  রোধবিশিষ্ট সান্ট যুক্ত করা হইল। গ্যালভানোমিটার ও সান্ট সমবায়ের সহিত শ্রেণীতে কত মানের রোধ যুক্ত করিলে বর্তনীর প্রবাহ অপরিবর্তিত থাকিবে?

**সমাধান :** মনে করি, গ্যালভানোমিটার ও সান্টের সম্মিলিত রোধ  $= R_{eq}$

$$\therefore \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{g} + \frac{1}{s} \text{ বা, } R_{eq} = \frac{gs}{g+s}$$

$s/(s+g)$ -এর মান এক অপেক্ষা কম বলিয়া  $R_{eq} < g$ । সুতরাং, সান্ট যুক্ত করিলে মূল বর্তনীর রোধ কমিয়া বাইবে, ফলে মূল প্রবাহের মান বাড়িবে। মূল প্রবাহ স্থির রাখিতে হইলে  $R_{eq}$ -এ সহিত এমন একট রোধ ( $R$ ) যুক্ত করিতে হইবে বাহাতে  $R_{eq} + R = g$  হয়।

$$\therefore R = g - R_{eq} = g - \frac{gs}{g+s} = \frac{g^2}{g+s}$$

**উদাহরণ 2.19** একটি ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল 18 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 3 ohms। উহার দুই মেবুক A-তার দ্বারা যুক্ত করিলে মেবুকদের বিভব-বৈষম্য হয় 15 ভোল্ট। A-তারটিকে B-তার দ্বারা প্রতিস্থাপিত করিলে উহার দুই মেবুক বিভব-বৈষম্য 12 ভোল্ট হয়। A এবং B তারের রোধ নির্ণয় কর।

**সমাধান :** ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল ও আভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে 18 volts এবং 3Ω। মনে করি, A এবং B তারের রোধ যথাক্রমে  $R_a$  এবং  $R_b$ ।

A তারের সাহায্যে ব্যাটারীর মেবুক যুক্ত করিলে ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন

= তড়িচ্চালক বল - ব্যাটারীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য = (18 - 15) volts = 3 volts

= তড়িৎ-প্রবাহ ( $I_a$ ) × আভ্যন্তরীণ রোধ

$$\text{তড়িৎ-প্রবাহ } (I_a) = \frac{3 \text{ volts}}{\text{আভ্যন্তরীণ রোধ}} = \frac{3 \text{ volts}}{3 \text{ ohms}} = 1 \text{ A}$$

ওহমের সূত্রানুসারে,  $I_a = \frac{18}{R_a + 3} = 1A \therefore R_a = 15\Omega$

একইভাবে, B-তারের সাহায্যে দুই মেরু যুক্ত করিলে ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন = তড়িৎ-প্রবাহ,  $(I_b) \times$  আভ্যন্তরীণ রোধ =  $(18 - 12) = 6$  volts

$$\therefore I_b = \frac{6 \text{ volts}}{3\Omega} = 2 A$$

কিন্তু,  $I_b = \frac{18}{R_b + 3} \therefore \frac{18}{R_b + 3} = 2$  বা,  $R_b = 6\Omega$

**উদাহরণ 2.20** একই পদার্থের দুইটি তার যুক্ত করিয়া একটি রোধ তৈয়ারী করা হইল। তার দুইটির ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 1 mm এবং 3 mm; এবং ইহাদের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 3 cm এবং 5 cm। 16 V তড়িৎচালক-বল-সম্পন্ন এবং উপেক্ষণীয় আভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি ব্যাটারীকে এই রোধের দুই প্রান্তে যুক্ত করা হইল। ক্ষুদ্রতর তারটিতে বিভব-পতন কত হইবে।

[ আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1970 ]

**সমাধান :** মনে করি, AB এবং BC-তারের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 1 mm এবং 3 mm; এবং ইহাদের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 3 cm এবং 5 cm (চিত্র 2.23)। ইহাদের যুক্ত করিয়া ABC-রোধ গঠন করা হইয়াছে।

AB এবং BC তারের উপাদানের রোধাঙ্ক  $\rho$  হইলে লেখা যায়,

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{\pi r_1^2} \dots (i)$$

$$\text{এবং } R_2 = \rho \frac{l_2}{\pi r_2^2} \dots (ii)$$

এখানে,  $R_1$ ,  $l_1$  ও  $r_1$  যথাক্রমে AB তারের রোধ, দৈর্ঘ্য ও ব্যাসার্ধ এবং  $R_2$ ,  $l_2$  ও  $r_2$  যথাক্রমে BC তারের রোধ, দৈর্ঘ্য ও ব্যাসার্ধ।

$$(i) \text{ এবং } (ii) \text{ হইতে পাই, } \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2} \times \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $r_1 = 1$  mm,  $r_2 = 3$  mm,  $l_1 = 3$  cm এবং  $l_2 = 5$  cm

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{3}{5} \times \left( \frac{3}{1} \right)^2 = \frac{27}{5} \dots (iii)$$

AB রোধের দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য  $V_1$  এবং BC রোধের দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য  $V_2$  হইলে লেখা যায়,

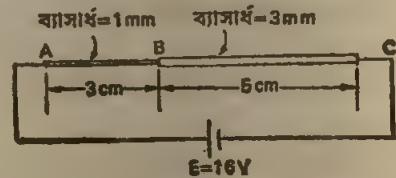
$$V_1 = iR_1 \dots (iv)$$

$$V_2 = iR_2 \dots (v)$$

এখানে,  $i$  হইল বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ।

$$(iv) \text{ এবং } (v) \text{ হইতে পাই, } \frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2} \dots (vi)$$

$$\text{সুতরাং, } (iii) \text{ এবং } (vi) \text{ হইতে লেখা যায়, } \frac{V_1}{V_2} = \frac{27}{5} \dots (vii)$$



চিত্র 2.23

আবার,  $V_1 + V_2 = 16 \text{ volts}$

... (viii)

(vii) এবং (viii) হইতে পাই,  $V_1 = 13.5 \text{ volts}$

অর্থাৎ, ক্ষুদ্রতর তারটিতে যে-বিত্ত্ব-পতন ঘটিবে উহার মান  $13.5 \text{ volts}$ ।

**উদাহরণ 2.21** সর্বতোভাবে সমান দুইটি কোষ প্রণী সমবारे বৃত্ত গুণিকরা  $10\Omega$  রোধ-বিশিষ্ট একটি পরিবাহী তারের মধ্য দিয়া  $\frac{1}{2} \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ পাঠায়। যখন কোষদ্বয় সমান্তরালভাবে বৃত্ত থাকে তখন উক্ত রোধের মধ্য দিয়া  $\frac{3}{2} \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ যায়। কোষদ্বয়ের তড়িচ্চালক বল এবং আভ্যন্তরীণ রোধের মান কত?

**সমাধান :** মনে করি, প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল  $= E$  এবং আভ্যন্তরীণ রোধ  $= r$ । প্রণী সমবारे বৃত্ত থাকিলে কার্যকর তড়িচ্চালক বল  $= 2E$  এবং মোট আভ্যন্তরীণ রোধ  $= 2r$

কাজেই, ওহ্মের সূত্র হইতে লেখা যায়,  $\frac{2E}{10+2r} = \frac{1}{2} \text{ A}$  ... (i)

সমান্তরাল সমবारे বৃত্ত অবস্থায়, কার্যকর তড়িচ্চালক বল  $= E$

মোট আভ্যন্তরীণ রোধ  $= r/2$

কাজেই, ওহ্মের সূত্রানুসারে  $\frac{E}{10+(r/2)} = \frac{4}{21} \text{ A}$  ... (ii)

(i) ও (ii) হইতে পাই,  $\frac{4}{21} \left(10 + \frac{r}{2}\right) = \frac{1}{6} (10+2r)$

বা,  $r = 1\Omega$  ... (iii)

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,  $E = 2 \text{ volts}$

**উদাহরণ 2.22**  $2\Omega$  আভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট 96টি একই ধরনের কোষকে মিশ্র সমবारे কীৰ্পে বৃত্ত করিতে হইবে বাহ্যতে এই কোষ সমবায়  $3\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি রোধকের মধ্য দিয়া সর্বোচ্চ প্রবাহ পাঠাইতে পারে?

**সমাধান :** ধরি, প্রত্যেকটি পঙ্ক্তিতে  $n$ -সংখ্যক কোষ প্রণীভবভাবে বৃত্ত আছে এবং  $m$ -সংখ্যক ঐরূপ পঙ্ক্তি বহিরাছে। কাজেই,  $mn =$  মোট কোষ-সংখ্যা  $= 96$  ... (i)

প্রবাহ সর্বোচ্চ হইবার শর্ত হইতে আসন্ন জানি,  $R = \frac{n}{m} \cdot r$

প্রদানানুসারে,  $R = 3\Omega$  এবং  $r = 2\Omega$

$\therefore 3 = \frac{n}{m} \cdot 2$  বা,  $\frac{n}{m} = \frac{3}{2}$  ... (ii)

(i) ও (ii) হইতে পাই,  $mn \times \frac{n}{m} = 96 \times \frac{3}{2} \therefore n^2 = 144$  বা,  $n = 12$

অতএব,  $m = \frac{96}{12} = 8$

কাজেই, কোষগুলিকে 8টি পঙ্ক্তিতে সাজাইতে হইবে এবং প্রতিটি পঙ্ক্তিতে 12টি কোষ লইতে হইবে।

**উদাহরণ 2.23** প্রথমে প্রণী-সমবारे এবং পরে সমান্তরাল সমবारे বৃত্ত অবস্থায় দুইটি রোধক  $R_1$  এবং  $R_2$ -এর মধ্য দিয়া একটি তড়িৎ-কোষ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইল। যদি তড়িৎ-কোষটির আভ্যন্তরীণ রোধ উপেক্ষণীয় হয় তাহা হইলে দেখাও যে, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে মূল প্রবাহের মান প্রথম ক্ষেত্রে মূল প্রবাহের কমপক্ষে চারগুন বেশি। কখন ইহা ঠিক চার গুন হইবে?

[ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাডমিশন টেস্ট, 1968]

**সমাধান :** রোধ দুইটির-শ্রেণী-সমবায়কে তড়িৎ-কোষের দুই তড়িৎদ্বারের সহিত যুক্ত করিলে তড়িৎ-প্রবাহের মান হইবে

$$i_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad [E = \text{তড়িৎ-কোষের তড়িৎচালক বল (ধরি)}]$$

এখানে ধরা হইয়াছে যে, তড়িৎ-কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ উপেক্ষণীয়।

আবার রোধ দুইটির সমান্তরাল সমবায়কে তড়িৎ-কোষের দুই তড়িৎদ্বারের সহিত যুক্ত করিলে তড়িৎ-প্রবাহের মান হইবে

$$i_2 = \frac{E}{\left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)}$$

$$\text{সুতরাং, } \frac{i_2}{i_1} = \frac{(R_1 + R_2)^2}{R_1 R_2}$$

$$\text{বা, } \frac{i_2}{i_1} = \frac{(R_1 - R_2)^2 + 4R_1 R_2}{R_1 R_2} = 4 + \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_1 R_2}$$

এখন,  $(R_1 - R_2)^2 \geq 0$  বলিয়া লেখা যায়,

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_1 R_2} + 4 \geq 4$$

অর্থাৎ, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে মূল প্রবাহমাত্রা প্রথম ক্ষেত্রের মূল প্রবাহমাত্রা হইতে কমপক্ষে চার গুণ বেশি। লক্ষণীয় যে, যখন  $i_2 = 4i_1$  তখন  $(R_1 - R_2)^2 = 0$  বা,  $R_1 = R_2$

কাজেই দেখা যাইতেছে যে, রোধ দুইটির মান সমান হইলে তবেই দ্বিতীয় ক্ষেত্রের প্রবাহ প্রথম ক্ষেত্রের প্রবাহের চার গুণ হইবে।

**উদাহরণ 2.24** 200 Ω রোধাবিশিষ্ট একটি গ্যালভানোমিটার, 20 Ω রোধের একটি কুণ্ডলী এবং 2V তড়িৎচালক বল ও উপেক্ষণীয় অভ্যন্তরীণ রোধাবিশিষ্ট একটি তড়িৎ-কোষকে শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত করা হইল এবং গ্যালভানোমিটারের সহিত 2 Ω রোধের একটি পরিবাহীকে সমান্তরাল সমবায়ের যুক্ত করা হইল। গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]

**সমাধান :** গ্যালভানোমিটার এবং সার্কিটের সমান্তরাল সমবায়ের রোধ

$$= \frac{SG}{S+G} = \frac{200 \times 2}{200+2} = \frac{200}{101} \Omega$$

$$\text{বর্তনীর মোট রোধ} = \left(20 + \frac{200}{101}\right) \Omega$$

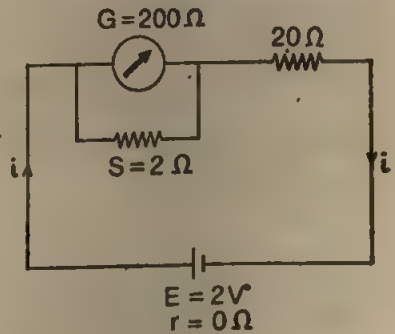
$$= 22 \Omega \text{ (প্রায়)}$$

$$\therefore \text{মূল প্রবাহ, } i = \frac{2V}{22 \Omega} = \frac{1}{11} A$$

কাজেই, গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ,

$$i_g = \frac{S}{S+G} \cdot i$$

$$= \frac{2}{2+200} \times \frac{1}{11} A = \frac{1}{101} \times \frac{1}{11} A = 9 \times 10^{-4} A = 0.9 \text{ mA}$$



চিত্র 2.24



**উদাহরণ 2.25**  $r_1$  এবং  $r_2$  আভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট এবং  $E$  তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট দুইটি কোষকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হইল। গঠিত বৃগ্ন ব্যাটারীটি এমন একটি রোধ  $R$ -এর সাহিত যুক্ত করা হইল বাহ্যতে প্রথম কোষটির দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য শূন্য হয়।  $R$ -এর মান নির্ণয় কর। [সংস্করণের নমুনা প্রশ্ন, 1987, অয়েস্ট এন্টোল, 1984]

**সমাধান :** উভয় কোষের তড়িচ্চালক  $E$  বলিরা বর্তনীর মোট তড়িচ্চালক বল  $= 2E$

বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ,  $i = \frac{\text{তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}}$

$$= \frac{2E}{r_1 + r_2 + R}$$

কাজেই, প্রথম কোষে আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন  $= i \cdot r_1$

$$= \frac{2E}{r_1 + r_2 + R} \times r_1$$

এই কোষের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য শূন্য বলিয়া লেখা যায়,

$$E - ir_1 = 0$$

$$\text{বা, } E = ir_1$$

$$\text{বা, } E = \frac{2E}{r_1 + r_2 + R} \times r_1$$

$$\text{বা, } r_1 + r_2 + R = 2r_1$$

$$\text{বা, } R = (r_1 - r_2)$$

কাজেই, বহিঃস্থ রোধ  $R$ -এর মান  $(r_1 - r_2)$ -এর সমান হইলে প্রথম কোষের দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য শূন্য হইবে।

### সার-সংক্ষেপ

উষ্ণতা এবং অন্যান্য ভৌত অবস্থা অপরিবর্তিত থাকিলে কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ চলে তাহা ঐ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের সমানুপাতিক। রোধের সংজ্ঞা হইতে পাই,

$$\text{তড়িৎ-প্রবাহ (I)} = \frac{\text{বিভব-বৈষম্য (V)}}{\text{রোধ (R)}}$$

কোন পরিবাহীর রোধ উহার দৈর্ঘ্য  $l$ -এর সমানুপাতিক এবং উহার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল  $S$ -এর ব্যস্তানুপাতিক।

$$\therefore R \propto \frac{l}{S} \quad \text{বা, } R = \rho \frac{l}{S}$$

এখানে  $\rho$  হইল পরিবাহীর উপাদানের রোধাঙ্ক। ইহার একক হইল ohm-cm।

$0^\circ\text{C}$  এবং  $t^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় কোন পরিবাহীর রোধ যথাক্রমে  $R_0$  এবং  $R_t$  হইলে

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \quad \text{বা, } \alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}$$

এখানে  $\alpha$  হইল পরিবাহীর উপাদানের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক।

$r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$  রোধগুলি প্রেরণ-সমবাহে যুক্ত করিলে এই সমবাহের তুল্য রোধ  $R_s$  নির্ণয়ের সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে :

$$R_s = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n = \sum_{i=1}^n r_i$$

$r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$  রোধগুলি সমান্তরাল সমবাহে যুক্ত করিলে এই সমবাহের তুল্য রোধ  $R_p$  নির্ণয়ের সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}$$

গ্যালভানোমিটার বা অ্যামিটারের মধ্য দিয়া অতিরিক্ত তড়িৎ-প্রবাহ গেলে এই যন্ত্র ক্ষতিগ্রস্ত হইতে পারে। বর্তনীর মূল প্রবাহ বেশি হইলে গ্যালভানোমিটার বা অ্যামিটার যন্ত্রের সমান্তরালে একটি রোধ ব্যবহার করিয়া মূল প্রবাহের একাংশ যন্ত্রের সমান্তরাল পথে প্রাধান হয়। যন্ত্রটির সমান্তরালে ব্যবহৃত এই রোধকে শাণ্ট বলা হয়।

G রোধসম্পন্ন কোন গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তে S-মানের সাঁট রোধ যুক্ত করিলে মূল প্রবাহ (i)-এর যে-অংশ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া যাইবে উহার মান

$$i_g = \frac{S}{S+G} \cdot i$$

এই সময় সাঁটের মধ্য দিয়া যে-প্রবাহ যার উহার মান

$$i_s = \frac{G}{S+G} \cdot i$$

n সংখ্যক সদৃশ তড়িৎ-কোষকে প্রেরণ-সমবাহে যুক্ত করিয়া ঐ কোষ-সমবাহকে R রোধ-সম্পন্ন বাহিবর্তনীর দুই প্রান্তে যুক্ত করিলে বাহিবর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ,

$$i = \frac{nE}{R+nr}$$

এখানে,  $r$  = প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ

এবং  $E$  = প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল।

n সংখ্যক সদৃশ তড়িৎ-কোষকে সমান্তরাল-সমবাহে যুক্ত করিয়া ঐ কোষ-সমবাহকে R রোধ-সম্পন্ন বাহিবর্তনীর দুই প্রান্তে যুক্ত করিলে বাহিবর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ

$$i = \frac{nE}{nR+r}$$

mn সংখ্যক কোষকে m সংখ্যক কোষ-পঞ্জির আকারে সাজান হইল। প্রতিটি পঞ্জিতে n সংখ্যক কোষ লগ্না হইল। এই পঞ্জিগুলিকে সমান্তরাল-সমবাহে যুক্ত করিলে আমরা কোষের মিশ্র-সমবাহ পাইব। কোষের এই মিশ্র-সমবাহকে R রোধসম্পন্ন বাহিবর্তনীর সহিত যুক্ত করিলে ঐ বর্তনীর মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ উহার মান

$$i = \frac{mnE}{mR+nr}$$

দেখান যার যে,  $R = (n/m)r$  হইলে বাহিবর্তনীর প্রবাহ সর্বোচ্চ হইবে।

## প্রশ্নাবলী 2

## কুম্বোডর প্রশ্নাবলী

1. '20°C উক্তার তামার রোধাঙ্ক  $1.7 \times 10^{-4} \text{ ohm-cm}$ ' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (দ্বিগুরা), 1986]

2. উক্তা বৃদ্ধি পাইলে ধাতব পরিবাহীর রোধ বাড়বে কেন?

3. "ধাতুর ক্ষেত্রে: রোধের উক্তা-গুণাঙ্ক ধনাত্মক, কিন্তু কার্বন এবং তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের ক্ষেত্রে ঋণাত্মক।" উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

4. তোমার নিকট অনেকগুলি 1000  $\Omega$  রোধ আছে, কিন্তু তোমার একটি 250  $\Omega$  রোধ প্রয়োজন। কীভাবে তাহা পাইতে পার? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

[4টি 1000 $\Omega$  রোধকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিয়া]

5. 2 $\Omega$ , 3 $\Omega$  এবং 6 $\Omega$  মানের তিনটি রোধকে কীভাবে যুক্ত করিলে কার্যকরী রোধের মান 4 $\Omega$  হইবে? [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1972]

6. মানক রোধ-কুণ্ডলী তৈয়ারী করিতে সাধারণত ম্যাঙ্গানিন এবং কনস্টানট্যান্স ব্যবহৃত হয় কেন?

7. কোন তড়িৎ কোষের দুই তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্য সাধারণত উহার তড়িচ্চালক বলের সমান হয় না। ইহার কারণ কী?

8. একটি বৈদ্যুতিক বাতিকে 10 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য-সম্পন্ন ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করিলে 0.01 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়, কিন্তু ঐ বৈদ্যুতিক বাতিকে যখন 220 volt বিভব-বৈষম্যের মেইনস্-এর সহিত যুক্ত করা হয় তখন 0.05 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়। ওহ্মের সূত্রের সহিত এই আপাত বিরোধের ব্যাখ্যা দাও।

[জরেন্ট এন্টোল, 1980]

9. একটি ধাতব তারের একটি নির্দিষ্ট রোধ আছে। যদি তারটিকে এমনভাবে টানা যায় বাহাতে ইহার দৈর্ঘ্য দ্বিগুণিত হয় তাহা হইলে ইহার রোধের মান কী হইবে? ধরিয়া লওয়া যায় যে, তারটির আয়তন এবং রোধাঙ্ক অপরিবর্তিত রহিয়াছে।

10. উক্তা-বৃদ্ধির সহিত ধাতব ফিলামেন্ট এবং কার্বন ফিলামেন্টের রোধের কীভাবে পরিবর্তন হয়? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987]

11. দুইটি স্থির তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট কোষের সাহায্যে একটি ধাতব পরিবাহী এবং একটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ বজায় রাখা হইয়াছে। যদি পরিবাহী এবং তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণের উক্তার পরিবর্তন হয় তাহা হইলে তড়িৎ-প্রবাহের কীভাবে পরিবর্তন হইবে? ব্যাখ্যাসহ উত্তর দাও। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987]

12. কোন শর্তে  $n$  সংখ্যক সমূল কোষকে শ্রেণী-সমবায়ে এবং সমান্তরাল-সমবায়ে একটি তারের সহিত যুক্ত করিলে দুই ক্ষেত্রেই তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের মান সমান হয়?

[জরেন্ট এন্টোল, 1987]

13. ওহ্মের সূত্র হইতে কীভাবে রোধের সংজ্ঞা পাওয়া যায় ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

14. একটি কোষের তড়িচ্চালক বল এবং ঐ কোষের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের পার্থক্য কী? ইহাদের মান কখন সমান হয়?

15. একটি প্রাথমিক কোষ এবং একটি গৌণ কোষের তড়িৎচালক বল সমান। ইহাদের মধ্যে কোন্টির সরবরাহিত সর্বোচ্চ তড়িৎ-প্রবাহের মান অগণ্যকৃত বেশি হইবে? ব্যাখ্যা কর। [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1977]

### নিবন্ধনী প্রশ্নাবলী

16. তড়িৎ-প্রবাহ সম্পর্কিত ওহমের সূত্রটি বিবৃত এবং ব্যাখ্যা কর। পরীক্ষার সাহায্যে কীভাবে এই সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করিবে? এই সূত্র হইতে কোন পরিবাহী রোধের ধারণা কীভাবে পাওয়া যায়? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987]

17. (a) ওহমের সূত্রটি বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর। ওহমের সূত্রের সত্যতা নিরূপণের জন্য একটি সহজ পরীক্ষা-পদ্ধতি বর্ণনা কর। (b) অনেকগুলি রোধকে সমান্তরাল-সমবारे যুক্ত করিলে উহাদের তুল্য রোধ কী হইবে নির্ণয় কর। (c) (i) একটিমাত্র তড়িৎ-কোষ (ii) দুইটি তড়িৎ-কোষের প্রেরণী-সমবारे এবং (iii) দুইটি তড়িৎ-কোষের সমান্তরাল-সমবारे 'সর্ব সার্কিট' অবস্থায় যে-তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হয় উহাদের তুলনা কর। ধরিয়া লও যে, কোষের যথেষ্ট পরিমাণ রোধবিশিষ্ট এবং সদৃশ। [1 : 1 : 2]

18. (a) ওহমের সূত্রটি বিবৃত কর। (b) রোধ ও রোধাক্ষের সংজ্ঞা দাও। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978] (c) কোন পরিবাহীর রোধাক্ষ কী কী বিষয়ের উপর নির্ভর করে? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

19. (a) ওহমের সূত্রটি বিবৃত কর। (b) ওহমের সূত্র হইতে রোধের সংজ্ঞা কীভাবে পাওয়া যায়? সমান্তরালভাবে যুক্ত  $r_1, r_2$  মানের দুইটি রোধের তুল্যাক্ষ রোধ নির্ণয় কর। (c) তোমাকে দুইটি 100 ওহমের এবং দুইটি 50 ওহমের রোধ দেওয়া হইল। এগুলি কীভাবে সাজাইলে মোট 75 ওহম রোধ পাওয়া যাইবে? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1979]

20. (a) একটি খাতব তারের রোধ উহার উত্তার উপর কীভাবে নির্ভর করে? রোধের উক্ত-গুণাক্ষের সংজ্ঞা দাও। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1983]  $R_1, R_2$  এবং  $R_3$  ওহম মানের তিনটি রোধকে সমান্তরাল সমবारे যুক্ত করিলে উহাদের তুল্য-রোধের ব্যাক্ষ (expression) নির্ণয় কর। (b)  $2\Omega, 3\Omega$  ও  $6\Omega$  মানের তিনটি রোধকে কীভাবে যুক্ত করিলে তুল্যাক্ষ রোধ  $4\Omega$  হইবে? (c) রোধের উক্ত-গুণাক্ষ কাকে বলে? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

21.  $mn$ -সংখ্যক সদৃশ কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হইল বাহাতে উহার সমান্তরালভাবে যুক্ত  $m$ -সংখ্যক পদ্ধতি গঠন করে এবং প্রতিটি পদ্ধতিতে  $n$ -সংখ্যক কোষ প্রেরণী সমবारे যুক্ত থাকে। এই বর্তনী হইতে সর্বোচ্চ তড়িৎ-প্রবাহ পাইবার শর্ত কী? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

22. তড়িৎ-প্রবাহ, বিভব-বৈষম্য ও রোধের একক কী? কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ ও আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন বলিতে কী বুঝ?

23. (a) একটি তারের রোধ কী কী বিষয়ের উপর নির্ভর করে? রোধাক্ষের সংজ্ঞা লিখ এবং ইহাকে কোন্ এককে প্রকাশ করা হয় বল।

24. রোধের সমান্তরাল সমবारेের সূত্রটি প্রাতিষ্ঠা কর। এইবার দেখাও যে, সমান্তরাল সমবারে যুক্ত একাধিক রোধের তুল্য রোধ ঐ রোধগুলির ক্ষুদ্রতমটির তুলনারও কম। [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987, অরেস্ট এন্ট্রান্স, 1986]



25. রোধাঙ্ক কাহাকে বলে ? [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুড়া ), 1982 ] ইহার একক কী ? পরিবাহিতা ও পরিবাহিতাঙ্ক বলিতে কী বুঝ ? ইহাদের একক কী হইবে ?

26. কোন রোধ সমবাহের তুল্য রোধ বলিতে কী বুঝ ? ওহমের সূত্র প্রয়োগ করিয়া প্রেশী-সমবাহের ও সমান্তরাল-সমবাহের যুক্ত  $n$ -সংখ্যক রোধের তুল্য রোধের মান নির্ণয় কর ।

27. কোন পরিবাহীর রোধ কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে ? কোন পদার্থের রোধাঙ্ক কাহাকে বলে ? 'তামার রোধাঙ্ক  $1.6 \times 10^{-8} \text{ ohm-cm}$ ' বলিতে কী বুঝ ?

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

28. (a) দুইটি রোধক সমান্তরাল সমবাহে যুক্ত করিলে উহাদের তুল্য রোধ নির্ণয় কর ।

(b) ভোল্ট এবং অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা দাও । [ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1986 ]

29. সার্কট কাহাকে বলে ? ইহা ব্যবহৃত হয় কেন ? সার্কটযুক্ত গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া মূল প্রবাহের কত ভগাংশ প্রবাহিত হয় ?

30. (a) দেখাও যে, কোন সার্কটযুক্ত গ্যালভানোমিটারের প্রবাহমাত্রা ( $I_g$ ) নির্ণয়ের সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় :

$$I_g = \frac{S}{G+S} \cdot I$$

এখানে,  $I$  = মূলপ্রবাহ,  $G$  = গ্যালভানোমিটারের রোধ এবং  $S$  = সার্কটের রোধ ।

(b) রোধের উচ্চতা-গুণাঙ্ক বলিতে কী বুঝায় ?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1980, 1982 ]

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

31. দুইটি তামার তারের দৈর্ঘ্যের অনুপাত 1 : 2 এবং ইহাদের রোধ সমান, তার দুইটির ব্যাসের অনুপাত কত ? [ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1982 ] [1 :  $\sqrt{2}$ ]

32.  $50\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়া 0.5 A ভোল্ট-প্রবাহ পাঠাইতে হইলে 1.8 volt ভোল্টমিটার বলাবিশিষ্ট এবং  $1.1\Omega$  অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট কতগুলি ভোল্ট-কোষ প্রয়োজন হইবে ? [20টি]

33. কোন বর্তনীতে  $3\Omega$  রোধ যোগ করিলে বর্তনীর রোধ 6 : 5 অনুপাতে বাড়িয়া যায় । বর্তনীর প্রাথমিক রোধ কত ? বর্তনীতে কী পরিমাণ রোধ প্রয়োগ করিলে বর্তনীর ভোল্ট-প্রবাহ উহার পূর্ববর্তী মানের অর্ধেক হইবে ? [15Ω, 15Ω]

34.  $0.25\Omega$  অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট চারটি নির্জল কোষকে  $5\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি ভোল্টমিটারের সহিত প্রেশী সমবাহে যুক্ত করা হইল । ইহাতে প্রবাহের মান উহার প্রয়োজনীয় মানের অর্ধেক হইল । এইরূপ আরও কয়টি কোষ বর্তনীতে যুক্ত করিলে প্রয়োজনীয় মানের প্রবাহ পাওয়া যাইবে ? [6টি]

35. একটি ব্যাটারীর ভোল্টমিটার বল 15 V ; উহার দুই মেরুকে একটি তামার তার দিয়া যুক্ত করিলে উহার মধ্য দিয়া 1.5 A ভোল্ট-প্রবাহ চলিতে থাকে এবং ব্যাটারীর দুই মেরুর বিভব-বৈষম্য কমিয়া গিয়া 9 V হয় । তারটির রোধ নির্ণয় কর । [6Ω, 4Ω]

36. 1.8 V এবং 1.08 V ভোল্টমিটার বলাবিশিষ্ট দুইটি কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হইল যে, উহার বর্তনীর মধ্য দিয়া একে অন্যের বিপরীত দিকে ভোল্ট-প্রবাহ পাঠাইতে চায় । এই অবস্থার বর্তনীতে 0.4 A ভোল্ট-প্রবাহ পাওয়া গেল । কোষদ্বয়কে সঠিকভাবে প্রেশী-সমবাহে যুক্ত করিলে বর্তনীতে প্রবাহের মান কত হইবে ? [1.6 A]

37. 3 mm ব্যাসার্ধ এবং 31.4 cm দৈর্ঘ্যের একটি ধাতব তারের রোধ  $0.2 \times 10^{-6}$  ohm। ধাতুটির রোধাঙ্ক নির্ণয় কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978 ] [ $1.8 \times 10^{-6}$  ohm-cm]

38. দুইটি রোধকে শ্রেণী-সমবारे যুক্ত করিলে তুল্য রোধ হয়  $20 \Omega$  এবং সমান্তরাল সমবारे যুক্ত করিলে তুল্য রোধ হয়  $4.8 \Omega$ । রোধদ্বয়ের মান নির্ণয় কর।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ] [ $12 \Omega$  এবং  $8 \Omega$ ]

39. শ্রেণী-সমবारे যুক্ত 100টি কোষের সহিত 50 ওহম রোধাবিশিষ্ট দুইটি বৈদ্যুতিক ব্যাতি শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত করা হইল। প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল  $1.5 \text{ V}$  এবং আভ্যন্তরীণ রোধ  $1 \Omega$  হইলে বৈদ্যুতিক ব্যাতিগুলির মধ্য দিয়া কত তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1960 ] [ $0.75 \text{ A}$ ]

40. দুইটি কুণ্ডলীকে শ্রেণী-সমবारे যুক্ত করিলে ঐ সমবাদের তুল্য রোধ হয়  $10 \Omega$  এবং সমান্তরাল সমবারে যুক্ত করিলে ঐ সমবাদের তুল্য রোধ হয়  $2.4 \Omega$ । কুণ্ডলীদ্বয়ের রোধ কত?

[ $4 \Omega$ ,  $6 \Omega$ ]

41. সাতটি বৈদ্যুতিক ব্যাতিকে সমান্তরাল সমবারে যুক্ত করা হইল। প্রতিটি রোধ  $210 \Omega$  হইলে উক্ত সমবাদের তুল্য রোধ কত?

[ $30 \Omega$ ]

42.  $200 \Omega$  রোধাবিশিষ্ট একটি গ্যালভানোমিটারের সহিত সমান্তরালভাবে  $10 \Omega$  রোধের একটি সার্কট যুক্ত করা হইল। মূল প্রবাহের মান  $10 \text{ A}$  হইলে গ্যালভানোমিটার ও সার্কটের মধ্য দিয়া কী পরিমাণ প্রবাহ যাইবে?

[ $0.47 \text{ A}$ ,  $9.53 \text{ A}$ ]

43.  $10 \Omega$ ,  $20 \Omega$  এবং  $30 \Omega$  রোধাবিশিষ্ট তিনটি তার সমান্তরাল সমবারে যুক্ত আছে। প্রথম তারটির মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ যার তাহার মান  $10 \text{ A}$  হইলে অন্যান্য তারের প্রবাহমাত্রার মান নির্ণয় কর। বর্তমান মূল প্রবাহের মান কত হইবে?

[ $5 \text{ A}$ ;  $3\frac{1}{2} \text{ A}$ ;  $18\frac{1}{2} \text{ A}$ ]

44. 2 cm দৈর্ঘ্যাবিশিষ্ট এবং  $10^{-4} \text{ mm}^2$  প্রস্থক্ষেত্রবিশিষ্ট একটি টাংস্টেন-তারের রোধ  $11 \Omega$  হইলে টাংস্টেনের রোধাঙ্কের মান নির্ণয় কর।

[ $5.5 \times 10^{-6}$  ohm-cm]

45. 0.8 mm ব্যাসাবিশিষ্ট একটি নাইক্রোম তারের রোধ  $10 \Omega$  হইলে ইহার দৈর্ঘ্য কত? নাইক্রোমের রোধাঙ্ক  $= 11 \times 10^{-6}$  ohm-cm।

[ $4.57 \text{ m}$ ]

46. দুইটি একই ধরনের কোষ শ্রেণী-সমবারে যুক্ত হইলে  $8 \Omega$  রোধাবিশিষ্ট বহির্বর্তনীর মধ্য দিয়া  $0.25 \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ পাঠায়। কোষদ্বয় সমান্তরালভাবে যুক্ত থাকিলে ঐ বহির্বর্তনীর মধ্য দিয়া  $0.16 \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ চলে। কোষদ্বয়ের তড়িচ্চালক বল ও আভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

[ $1.67 \text{ V}$ ,  $6.22 \Omega$ ]

47. দুইটি তারের দৈর্ঘ্যের, ব্যাসের এবং রোধাঙ্কের অনুপাত—ঐ তিনটি অনুপাতই  $1 : 2$ ; প্রথম তারটির রোধ  $10$  ওহম হইলে দ্বিতীয় তারটির রোধ কত?

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1969 ] [ $10 \Omega$ ]

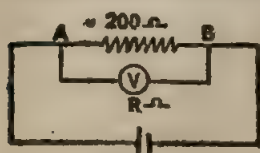
48. 1 cm<sup>3</sup> আয়তনের তামাকে পিটাইয়া 1 মিটার লম্বা সুবম তার তৈয়ারী করা হইলে ঐ তারটির রোধ কত হইবে? ধরিয়া লও যে, তামার রোধাঙ্ক  $18 \times 10^{-6}$  ohm-cm।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1969 ] [ $0.018 \Omega$ ]

49. ABCD একটি বর্গাকৃতি তার। ইহার প্রতিটি বাহুর রোধ  $20 \Omega$ । A এবং C বিন্দুর সহিত  $5 \Omega$  রোধাবিশিষ্ট একটি তারের দুই প্রান্ত যুক্ত করা হইল। A এবং C বিন্দুর মধ্যে তারগুলির তুল্য রোধ নির্ণয় কর।

[ $4 \Omega$ ]

50. 100 V তড়িচ্চালক বল-সম্পন্ন এবং  $3\Omega$  আভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি ব্যাটারীর সহিত  $200\Omega$  মানের বর্ধিত রোধ যুক্ত করা হইল। ঐ বর্ধিত রোধের দুই প্রান্তে



$E=100V$   
 $r=3\Omega$

চিত্র.2.25

$R\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি ভোল্টমিটার যুক্ত করা হইল (চিত্র 2.25)। ভোল্টমিটারের পাঠ 97 V হইলে ভোল্ট-মিটারটির রোধ নির্ণয় কর। [188.4Ω]

51.  $3\Omega$ ,  $4\Omega$  এবং  $5\Omega$  রোধবিশিষ্ট PQ, QR এবং RP রোধবিশিষ্ট পরিবাহীর দ্বারা PQR ত্রিভুজ গঠন করা হইল। (i) P ও Q, (ii) Q ও R এবং (iii) R ও P-এর মধ্যে উক্ত পরিবাহী সমবায়ের

[ (i)  $2.25\Omega$ , (ii)  $2.67\Omega$ , (iii)  $2.92\Omega$  ]

52. 5 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ তিনটি শাখায় বিভক্ত হইল। এই শাখাগুলির তারের দৈর্ঘ্যের অনুপাত 1 : 2 : 3। প্রতিটি শাখায় তড়িৎ-প্রবাহ নির্ণয় কর। তারগুলি একই উপাদানে গঠিত এবং ইহাদের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল সমান।

[ জয়েন্ট এন্টোল, 1973 ] [ $2\frac{2}{3}A$ ,  $1\frac{1}{3}A$ ,  $\frac{1}{2}A$ ]

53. একটি ক্ষুদ্র মোটর 0.5 A তড়িৎ-প্রবাহে চলে এবং ইহার দুই প্রান্তে 8.5 V বিভব-বৈষম্য বজায় রাখার প্রয়োজন হয়। (i) ইহার রোধ নির্ণয় কর। (ii) ন্যূনতম কতগুলি কোষকে শ্রেণী-সমবায়েরে যুক্ত করিলে মোটরটিকে চালান সম্ভব হইবে তাহা নির্ণয় কর (প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল = 1.1 V এবং আভ্যন্তরীণ রোধ = 0.5 ohm)।

[ আই. এস.সি. (কলিকাতা), 1946 ] [ $17\Omega$ , 10টি]

54. তিনটি রোধকের সাহায্যে একটি ত্রিভুজ ABC ত্রিভুজ গঠন করা হইল। ইহার AB বাহুর রোধ  $40\Omega$ , BC বাহুর রোধ  $60\Omega$  এবং CA বাহুর রোধ  $100\Omega$ , A এবং B বিন্দুর মধ্যে তুল্য রোধ কত?

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1975 ; উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986] [ $32\Omega$ ]

### জটিলতর গাণিতিক প্রশ্নাবলী

55. 1.1 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট এবং 1 ওহ্ম রোধবিশিষ্ট একটি ড্যানিয়েল কোষের দুই তড়িৎদ্বারের সহিত দুইটি তার শ্রেণী-সমবায়েরে যুক্ত করা হইল। ইহাদের মধ্যে একটি তার AB-এর রোধ 1 ওহ্ম এবং অপর তার BC-এর রোধ 6 ওহ্ম। কোষটির ধনাত্মক তড়িৎদ্বার উক্ত শ্রেণী-সমবায়ের A প্রান্তের সহিত এবং ঋণাত্মক তড়িৎদ্বারটি শ্রেণী-সমবায়ের C প্রান্তের সহিত যুক্ত রহিয়াছে। (i) A ও B, (ii) B ও C এবং (iii) C ও A প্রান্তের সহিত যুক্ত ভোল্টমিটারের পাঠ কী হইবে?

[ আই. এস.সি. (কলিকাতা), 1939 ] [ $0.1375V$ ,  $0.825V$ , এবং  $0.9625V$ ]

56. 1.4 V তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট এবং  $2\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি ব্যাটারীকে একটি অ্যামিটারের মধ্য দিয়া একটি  $100\Omega$  রোধের সহিত যুক্ত করা হইল। অ্যামিটারটির রোধ  $\frac{1}{2}\Omega$ । রোধটির দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য মাপিবার জন্য উহার দুইপ্রান্তে একটি ভোল্টমিটার যুক্ত রহিয়াছে। (i) উক্ত বর্তনীর চিত্র অঙ্কন কর। (ii) অ্যামিটারের পাঠ  $0.02A$

হইলে ভোল্টমিটারের রোধ কত? (iii) ভোল্টমিটারের পাঠ 1.10 V। এই পাঠের দুটি কত? [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1975]

[ (i) 200 V, (ii) প্রকৃত বিভব-বৈষম্য অণেকা 0.23 V কম ]

57. দুইটি রোধক A এবং B-কে সমান্তরাল সম্বারে যুক্ত করিয়া এই সম্বারকে 200V রোধের একটি তার এবং 1.5 V তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট এবং উপকণীর আভ্যন্তরীণ রোধ-বিশিষ্ট একটি তড়িৎ-কোষের সহিত শ্রেণী-সম্বারে যুক্ত করা হইল। A রোধকটির রোধ 100Ω। B রোধকটিকে খুলিয়া লইয়া বর্তনীতে অভিরিত 50Ω রোধকে শ্রেণীতে যুক্ত করিলে A রোধকের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের মান অপরিবর্তিত থাকে। B রোধকের রোধ নির্ণয় কর। [ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাডমিশন টেস্ট, 1963] [400Ω]

58. 1 cm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি ইন্সপাতের তারের উপর তামার সুবম প্রলেপ দিয়া উহার রোধ কমান্বয়ে এক-তৃতীয়াংশ করা হইল। তামার প্রলেপের বেধ কত? তামার রোধাঙ্ক =  $1.8 \times 10^{-8}$  ohm-cm এবং ইন্সপাতের রোধাঙ্ক  $1.98 \times 10^{-6}$  ohm-cm। [ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাডমিশন টেস্ট, 1963] [0.045 cm (প্রায়)]

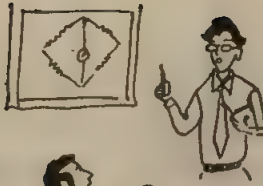
59. সমান তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট 12টি তড়িৎ-কোষকে শ্রেণী-সম্বারে যুক্ত করিয়া উহাদ্বয়কে একটি বন্ধ ব্যাক্সে রাখিয়া দেওয়া হইল। এই কোষগুলির মধ্যে কয়েকটি দুটিপূর্ণভাবে যুক্ত রহিয়াছে। এই ব্যাটারীকে একটি অ্যামিটার এবং অন্য কোষগুলির অনুরূপ দুইটি কোষের সহিত শ্রেণী-সম্বারে যুক্ত করা হইল। যখন কোষগুলি এবং ব্যাটারী পরস্পরকে সহায়তা করে তখন 3A তড়িৎ-প্রবাহ চলে। যখন কোষগুলি এবং ব্যাটারীটি পরস্পরের বিরোধিতা করে তখন 2A তড়িৎ-প্রবাহ চলে। ব্যাটারীর মধ্যে কতগুলি কোষ দুটিপূর্ণভাবে যুক্ত রহিয়াছে? [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1976] [1টি কোষের সংযোগ দুটিপূর্ণ]

60. 400 Ω এবং 800 Ω মানের দুইটি রোধকে 6 V ব্যাটারীর সহিত শ্রেণী-সম্বারে যুক্ত করা হইল। এই বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ মাপিতে হইবে। এই উদ্দেশ্যে 10 Ω রোধ-বিশিষ্ট একটি অ্যামিটার ব্যবহৃত হইল। অ্যামিটারের পাঠ কী হইবে? অনুরূপভাবে, যদি 400 Ω রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য মাপিবার জন্য 10,000 Ω রোধসম্পন্ন একটি ভোল্টমিটার ব্যবহৃত হয় তাহা হইলে ভোল্টমিটারের পাঠ কত হইবে?

[ আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1982] [0.00496 A, 1.95 V]

61. 300 Ω রোধবিশিষ্ট একটি দূরবর্তী টেলিফোনকে এক ছোট্ট টেলিফোন-তারের সাহায্যে 10 কিলোমিটার দূরে অবস্থিত এক্সচেঞ্জের সহিত যুক্ত করা হইল। প্রতিটি টেলিফোন তারের রোধ প্রতি কিলোমিটারে 5Ω। কোন স্থানে এই দুই তারের মধ্যে একটি বৃক্ষাশা পাড়িল এবং ইহাতে এই দুই তার কার্যত R Ω রোধের মধ্য দিয়া পরস্পর যুক্ত হইল। এক্সচেঞ্জে পরিমাপ করিয়া দেখা গেল যে, টেলিফোন লাইনের দুই প্রান্তের রোধ 130 Ω। যখন লাইনের সহিত দূরবর্তী টেলিফোনের যোগাযোগ ছিন্ন করা হইল তখন ঐ রোধের মান বাড়িয়া 160 Ω হইল। এক্সচেঞ্জ হইতে কতটা দূরে 'ফল্ট' পাওয়া বাইবে? R-এর মান কত তাহাও নির্ণয় কর। [4 কিলোমিটার, 120 Ω]





## তড়িৎ-সংক্রান্ত পরিমাপ

*The finite mind does not require to grasp the infinitude of truth, but only to go forward from light to light.* —P. Bayne

### 3.1 রোধের পরিমাপ (Measurement of resistance)

রোধ পরিমাপে নানা পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়; কিন্তু কোন পদ্ধতিই সকল মানের রোধ পরিমাপের ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যায় না। সাধারণ মানের রোধ নির্ণয়ে যে-পদ্ধতি ব্যবহৃত হয় অতি উচ্চ কিংবা অতি নিম্ন মানের রোধ পরিমাপের ক্ষেত্রে সেই পদ্ধতি কার্যকর হয় না। পরিমাপের দিক হইতে তাত্ত্বিক রোধকে মোটামুটিভাবে তিন ভাগে ভাগ করা হয়, যথা—

(i) নিম্ন মানের রোধ : 1 ohm অপেক্ষা কম মানের রোধকে নিম্ন মানের রোধ (low resistance) বলা হয়।

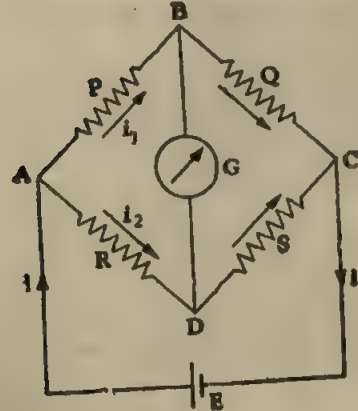
(ii) সাধারণ মানের রোধ : 1 ohm হইতে 1000 ohms পর্যন্ত মানের রোধকে সাধারণ মানের রোধ (ordinary resistance) বলে।

(iii) উচ্চ মানের রোধ : 1000 ohms অপেক্ষা বেশি মানের রোধকে উচ্চমানের রোধ (high resistance) বলা হয়।

বলা বাহুল্য, বিভিন্ন মানের রোধের পরিমাপের পদ্ধতিও বিভিন্ন।

### 3.2 হুইটস্টোন ব্রিজ (Wheatstone bridge)

সাধারণ মানের রোধ পরিমাপের জন্য হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি কাজে লাগান হয়। এই নীতি ব্যবহার করিয়া পোস্ট অফিস বক্স (P. O. Box), মিটার ব্রিজ ইত্যাদি যন্ত্রের সাহায্যে রোধ পরিমাপ করা হয়। নিম্নে হুইটস্টোন ব্রিজের কার্যনীতি আলোচনা করা হইল।



চিত্র 3.1

P, Q, S এবং R—এই চারটি রোধকে পর পর যুক্ত করিয়া একটি বদ্ধ বর্তনী সৃষ্টি করা হইল। P ও Q রোধের সংযোগস্থান B-বিন্দু এবং R ও S-এর সংযোগস্থান D-বিন্দুর সহিত একটি গ্যালভানোমিটার (G) যুক্ত থাকে (চিত্র 3.1)। অপর দুই সংযোগ-বিন্দুর (অর্থাৎ P ও R-এর সংযোগবিন্দু A এবং Q ও S-এর সংযোগবিন্দু C) মধ্যে একটি

ব্যাটারী বা তড়িৎ-কোষ E যুক্ত থাকে। এই ব্যবস্থাকে হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনী বলা হয়। P, Q, S এবং R-রোধগুলিকে ব্রিজ বর্তনীর বাহু (arm) বলা হয়।

**কার্যনীতি :** কোষ হইতে আগত মূল প্রবাহ ( $i$ ) A-কিন্দুতে দুইভাগে বিভক্ত হয়। একভাগ ( $i_1$ ) প্রবাহিত হয় P-রোধের মধ্য দিয়া, অপর অংশ ( $i_2$ ) প্রবাহিত হয় R-রোধের মধ্য দিয়া। ব্রিজের রোধগুলির মানের উপর  $i_1$  এবং  $i_2$ -এর মান (কাজেই, B-কিন্দু ও D-কিন্দুর তড়িৎ-বিভবের মান) নির্ভর করিবে। রোধগুলির মান বদলাইলে  $i_1$  এবং  $i_2$ -এর মান বদলাইবে, সেইসঙ্গে B এবং D-কিন্দুর বিভবও বদলাইবে।

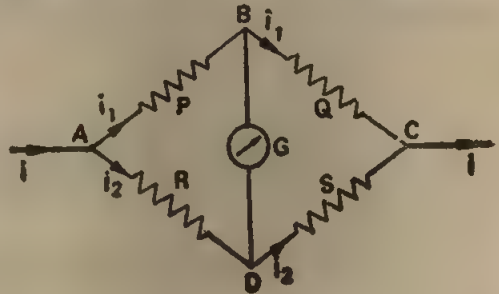
রোধগুলির মান নিয়ন্ত্রিত করিয়া B এবং D-কিন্দুর বিভব সমান করিতে পারিলে গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তে কোন বিভব-বৈষম্য থাকিবে না, সুতরাং গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া কোন তড়িৎ-প্রবাহ বাইবে না। এই অবস্থায় গ্যালভানোমিটারের কোন বিক্ষেপ থাকে না বলিয়া ইহাকে গ্যালভানোমিটারের নিষ্পন্দ অবস্থা (null condition) বলা হয়। প্রমাণ করা যায় যে, নিষ্পন্দ অবস্থায় P, Q, R এবং S রোধগুলি

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

এই সমীকরণ মানিয়া চলে। নিম্নে ইহা প্রমাণ করা হইল।

নিষ্পন্দ অবস্থায় B ও D-কিন্দুর বিভব সমান বলিয়া এই অবস্থায় গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া কোন তড়িৎ-প্রবাহ থাকে না।

সুতরাং, P-রোধ দিয়া যে-প্রবাহ বাইবে তাহা Q-রোধের মধ্য দিয়াও বাইবে। অনুরূপভাবে, R-রোধের মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ যায় S-এর মধ্য দিয়াও সেই তড়িৎ-প্রবাহ যায়। মনে



চিত্র 3.2

করি, গ্যালভানোমিটারের নিষ্পন্দ অবস্থায় P ও Q রোধের মধ্য দিয়া  $i_1$  প্রবাহ এবং R ও S রোধের মধ্য দিয়া  $i_2$  প্রবাহ যায় (চিত্র 3.2)। ধরি, A, B, C এবং D কিন্দুর বিভব যথাক্রমে  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$  এবং  $V_D$ । অতএব ওহ্মের সূত্রানুসারে লেখা যায়,

$$i_1 = \frac{V_A - V_B}{P} = \frac{V_B - V_C}{Q} \quad \text{বা,} \quad \frac{P}{Q} = \frac{V_A - V_B}{V_B - V_C} \quad \dots \quad (i)$$

অনুরূপভাবে,

$$i_2 = \frac{V_A - V_D}{R} = \frac{V_D - V_C}{S} \quad \text{বা,} \quad \frac{R}{S} = \frac{V_A - V_D}{V_D - V_C} \quad \dots \quad (ii)$$

কিন্তু আমরা জানি যে, গ্যালভানোমিটারের নিষ্পন্দ অবস্থায়

$$V_D = V_B \quad \dots \quad (iii)$$

সমীকরণ (ii) ও (iii) হইতে লেখা যায়,

$$\frac{R}{S} = \frac{V_A - V_B}{V_B - V_C} \quad \dots \quad (iv)$$

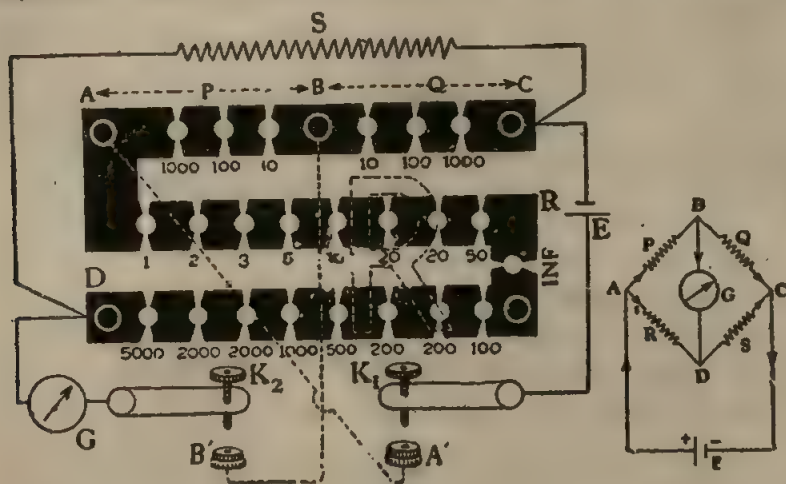
সমীকরণ (i) এবং (iv) তুলনা করিয়া পাই,  $P/Q = R/S \quad \dots \quad (3.1)$

রিজের যে-কোন তিনটি বাহুর রোধ (যেমন P, Q এবং R) জানা থাকিলে সমীকরণ (3.1) হইতে চতুর্থ বাহুর রোধ (S) নির্ণয় করা যায়। ইহাই দুইটেক্টোন রিজের কার্যনীতি।

### 3.3 পোস্ট-অফিস বক্স (Post Office Box)

এই যন্ত্রটি দুইটেক্টোন রিজের নীতিতে কাজ করে। ইহার সাহায্যে সাধারণ মানের রোধ মাপা হয়। ডাক বিভাগে টেলিগ্রাফের তার ইত্যাদির রোধ মাপিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হইত বলিয়া ইহাকে পোস্ট-অফিস বক্স বলা হয়। এই যন্ত্রটি দেখিতে অনেকটা রোধ বাক্সের মত। 3.3 নং চিত্রে পোস্ট-অফিস বক্সের মূল অংশগুলি দেখান হইয়াছে।

ইহাতে তিনটি সারিতে কতকগুলি রোধ-কুণ্ডলী থাকে। প্রথম সারিতে AB এবং BC অংশের প্রত্যেকটিতে 10 ওহ্ম, 100 ওহ্ম এবং 1000 ওহ্ম রোধাবিশিষ্ট তিনটি কুণ্ডলী থাকে। যে-কোন একটির প্রাগ তুলিলে উহা বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হয়। এই



চিত্র 3.3

অংশদ্বয় দুইটেক্টোন রিজের P এবং Q রোধের সহিত তুলনীয়। ইহাদিগকে পোস্ট-অফিস বক্সের অনুপাত বাহু (ratio arm) বলা হয়।

তৃতীয় বাহু R এই যন্ত্রের A হইতে D পর্যন্ত বিস্তৃত। অর্থাৎ, দ্বিতীয় এবং তৃতীয় সারির সকল রোধ-কুণ্ডলীগুলি এই বাহুর অন্তর্গত। রোধ-কুণ্ডলীগুলির সহিত একটি করিয়া প্রাগ যুক্ত আছে। বিভিন্ন প্রাগ তুলিয়া এই বাহুর অন্তর্ভুক্ত রোধের মান ইচ্ছামত পরিবর্তন করা যায়। R বাহুর রোধের মান বদলায় যায় বলিয়া এই বাহুকে রিওলস্ট্যাট

বাহু (rheostat arm) বলা হয়। এই বাহুতে সাধারণত 1 হইতে 5000 ওহ্ম পর্যন্ত বিভিন্ন মানের রোধ-কুণ্ডলী থাকে। একটি প্রাগের নিচে কোন কুণ্ডলী থাকে না। এই প্রাগ খুলিলে অতি উচ্চ মানের রোধ বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হয়। ব্যবহারিক দিক হইতে এই রোধকে অসীম (infinity) ধরিয়া লওয়া যায়। চিত্রে ইহাদিগকে 'INF' দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে। R-বাহুর রোধ নিয়ন্ত্রণ করিয়াই গ্যালভানোমিটারকে নিশ্চল অবস্থায় আনিতে হয়। পরীক্ষাধীন রোধের দুই প্রান্ত D এবং C বিন্দুর সহিত যুক্ত করা হয়।

পোস্ট-অফিস বক্সের তৃতীয় সারির রোধ-কুণ্ডলীর পার্শ্বে দুইটি টেপা চাবি  $K_1$  এবং  $K_2$  যুক্ত থাকে। ইহাদের নিচে যথাক্রমে দুইটি পরিবাহী বোতাম  $A'$  এবং  $B'$  বসান থাকে।  $A'$ -বোতামের সহিত A-বিন্দুর এবং  $B'$ -বোতামের সহিত B-বিন্দুর বৈদ্যুতিক সংযোগ থাকে। চিত্রে ইহাকে কাটা লাইনের সাহায্যে দেখান হইয়াছে।

কোন তড়িৎ-কোষের একটি মেরুকে C-বিন্দুর সহিত এবং অপরটিকে টেপা চাবি  $K_1$ -এর সহিত যুক্ত করা হয়। গ্যালভানোমিটারের যন্ত্রের এক প্রান্ত যুক্ত করা হয় D বিন্দুর সহিত এবং অপর প্রান্তটি যুক্ত করা হয় টেপা চাবি  $K_2$ -এর সহিত।  $K_1$  এবং  $K_2$  চাবিযুক্ত টিপিয়া উহাদিগকে  $A'$  এবং  $B'$  বোতামের সংস্পর্শে আনিতে হইলেই স্টোন রিজ বর্তনী সংহত হইবে।

অজানা রোধ নির্ণয়ের পদ্ধতি : পোস্ট-অফিস বক্সের সাহায্যে কোন অজানা রোধ S-এর মান নির্ণয় করিতে হইলে প্রথমে 3.3 নং চিত্রের অনুরূপ বর্তনী গঠন করিতে হইবে। ইহার পর প্রথমে পোস্ট-অফিস বক্সের অনুপাত বাহুঘরে (চিত্রে যে-বাহুঘরের রোধকে P এবং Q দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে)  $10\Omega$  মানের রোধ স্থাপন করা হইল। এইবার রিওস্ট্যাট বাহুর রোধ পরিবর্তন করিয়া উহাকে এমন একটি মানে আনা হইল (বা আনার চেষ্টা করা হইল) যাহাতে গ্যালভানোমিটারে কোন বিক্ষেপ না ঘটে। ধরা যাক, চতুর্থ বাহুর রোধ যখন R তখন গ্যালভানোমিটার নিশ্চল অবস্থায় আসে। তাহা হইলে লেখা যায়,

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad \text{বা,} \quad S = \frac{Q}{P} \cdot R = \frac{10}{10} R \quad \text{বা,} \quad S = R$$

যদি R-এর কোন মানের জন্যই গ্যালভানোমিটার নিশ্চল না হয় তাহা হইলে ইহার এমন দুইটি মান  $R_1\Omega$  এবং  $(R_1 + 1)\Omega$  স্থির করিতে হইবে যাহাতে এই দুই রোধের ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের কঁটা পরস্পর বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয়। ইহা হইতে বুঝা যাইবে যে, অজানা রোধ S-এর মান  $R_1\Omega$  অপেক্ষা বেশি, কিন্তু  $(R_1 + 1)\Omega$  অপেক্ষা কম। এইবার অনুপাত বাহু P-তে  $100\Omega$  এবং Q-তে  $10\Omega$  রোধ স্থাপন করা হইল। রিওস্ট্যাট বাহুতে রোধকে  $10R_1\Omega$  এবং  $10(R_1 + 1)\Omega$ -এর মধ্যে পরিবর্তন করা হইল। রিওস্ট্যাট বাহুতে  $R_2\Omega$  ব্যবহার করিয়া যদি নিশ্চল বিন্দু পাওয়া যায় তাহা হইলে অজানা রোধ S-এর মান হইবে

$$S = \frac{10}{100} R_2 \quad \text{বা,} \quad S = \frac{1}{10} R_2$$

রোধের মানে দশমিকের পর এক ঘর পর্যন্ত সার্থক সংখ্যা থাকিলে উহার মান এই ভাবে নির্ণয় করা যায়। এই অবস্থায় যদি গ্যালভানোমিটার নিশ্চল না হয় তাহা



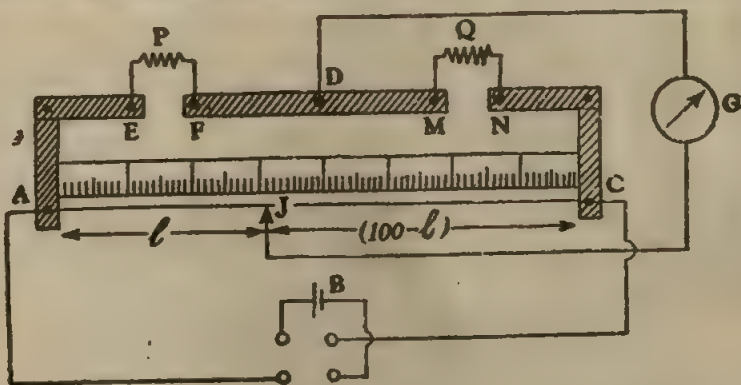
হইলে পূর্বের ন্যায় দুইটি রোধ  $R_s \Omega$  এবং  $(R_s + 1) \Omega$  নির্ণয় করা হইল বাহাতে এই দুই ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটার পরস্পর বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয়। এইবার P-তে  $1000 \Omega$  এবং Q-তে  $10 \Omega$  লইয়া R-বাহুর রোধকে  $10 R_s \Omega$  এবং  $10(R_s + 1) \Omega$ -এর মধ্যে পরিবর্তন করা হইল। R-বাহুতে  $R_s \Omega$  রোধ স্থাপন করিলে যদি গ্যালভানোমিটারের নিম্পন্দ অবস্থা পাওয়া যায় তাহা হইলে লেখা যাইবে,

$$S = \frac{10}{1000} R_s \quad \therefore S = \frac{1}{100} R_s$$

এই যন্ত্রের সাহায্যে রোধের মান দশমিকের পর দুইটি সার্থক অঙ্ক পর্যন্ত নির্ণয় করা যায়। পোস্ট অফিস যন্ত্রে ইহা অপেক্ষা নির্ভুলভাবে রোধ পরিমাণ সম্ভব নয়।

### 3.4 মিটার ব্রিজ (Metre Bridge)

হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি কাজে লাগাইয়া এই সরল যন্ত্রের উদ্ভব হইয়াছে। ইহার প্রধান অংশ এক মিটার লম্বা একটি সুবম তার। ইহা একটি কাঠের বোর্ডের উপর রক্ষিত একটি মিটার-স্কেলের সমান্তরালভাবে বসান থাকে (চিত্র 3.4)। ইহার A-প্রান্তে



চিত্র 3.4

L-আকৃতির একটি পিভলের পাত AB যুক্ত করা আছে। অনুবৃত্তভাবে, C-প্রান্তে একটি L-আকৃতির পিভলের পাত (CN) যুক্ত। E ও N প্রান্তের মাঝামাঝি অপর একটি লম্বা পিভলের পাত FM বসান থাকে। উপরি-উক্ত পাতগুলি মোটা বলিয়ার ইহাদের রোধ নগণ্য। EF ও MN অংশে পাতগুলির মধ্যে একটি করিয়ার ফাঁক (air gap) থাকে। এই দুই ফাঁকের একটিতে একটি রোধ বাক্স (resistance box) এবং অপরটিতে পরীক্ষা-ধীন অজানা রোধ যুক্ত করা হয়। G একটি গ্যালভানোমিটার। ইহার একপ্রান্ত FM পাতের মধ্যবিন্দু D-এর সহিত এবং অপরপ্রান্ত একটি সঞ্চারকর্মী জঁক (movable jockey) J-এর সহিত যুক্ত। জঁকটি AB-তার বরাবর চলাচল করিতে পারে। মিটার তারটির A এবং C প্রান্তের সহিত একটি কম্যুটেটরের দুইটি বিপরীত পাত যুক্ত থাকে। কম্যুটেটরের অপর দুই পাতের সহিত যুক্ত থাকে একটি ব্যাটারী।

জ্যাক টিপিগা J-বিন্দুতে মিটার-তারের সহিত গ্যালভানোমিটারের সংযোগ স্থাপন করিলে মিটার তারের রোধ দুই অংশে বিভক্ত হইয়া পড়ে। এই অবস্থায় আমরা একটি হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনী পাই। হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহুর দুইটি মিটার তারের দুই অংশের সহিত এবং অপর দুইটি রোধ বাহু BF এবং MN ফাঁকে যুক্ত P এবং Q রোধের সহিত তুলনীয়। তারের AJ অংশের রোধকে R এবং JC অংশের রোধকে S ধরিলে গ্যালভানোমিটারের নিম্নলিখিত অবস্থায়

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad \dots (i)$$

সমীকরণটি প্রযোজ্য হইবে। J জ্যাককে AC-তার বরাবর ডানদিকে এবং বামদিকে সরাইয়া এমন একটি বিন্দু নির্ণয় করিতে হইবে যেখানে জ্যাক তারকে স্পর্শ করিলে গ্যালভানোমিটারে কোন বিক্ষেপ দেখা যায় না। এই অবস্থায় তারের AJ এবং JC অংশের দৈর্ঘ্য  $l_1$  এবং  $l_2$  স্কেল হইতে মাপিতে হইবে।

মনে করি, মিটার তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের রোধ  $= \rho$ ; সুতরাং সেক্ষেত্রে,

$$R = l_1 \rho \quad \text{এবং} \quad S = l_2 \rho \quad \dots (ii)$$

$$\text{সুতরাং, } \frac{R}{S} = \frac{l_1}{l_2} \quad \dots (iii)$$

সমীকরণ (i) এবং (iii) হইতে লেখা যায়,

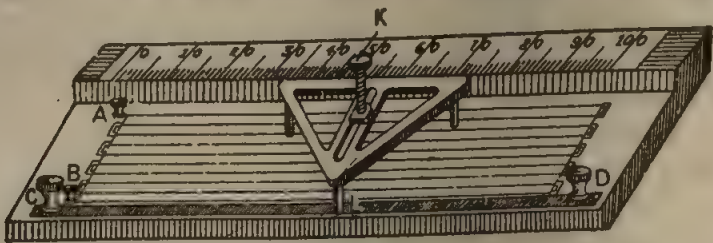
$$\frac{P}{Q} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$\text{সুতরাং, } Q = P \times \frac{l_2}{l_1} = P \times \frac{100 - l_1}{l_1} \quad (l_1 + l_2 = 100 \text{ cm বলিয়া)}$$

রোধ-বাহু P-তে বিভিন্ন রোধ লইয়া নিম্নলিখিত বিন্দু নির্ণয় করিয়া অজানা রোধ Q-এর গড় মান নির্ণয় করা যায়।

### • 3.5 পোটেন্সিওমিটার (Potentiometer)

ক্ষুদ্র মানের বিভব-বৈষম্য মাপিবার জন্য পোটেন্সিওমিটার নামক যন্ত্রটি বিশেষভাবে উপযোগী। 3.5 নং চিত্রে এই যন্ত্রের নকশা দেখান হইয়াছে। ইহাতে এক মিটার



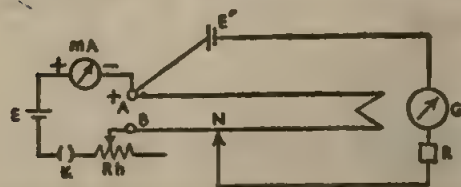
চিত্র 3.5

অপেক্ষা সামান্য বেশি লম্বা একটি কার্টের পাটাতনের উপর এক মিটার দীর্ঘ ও সমান প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একই উপাদানের দশটি তার পাশাপাশি সমান্তরালভাবে স্থাপন করা

থাকে। মোট তামার পাত দিয়া তারগুলিকে পর পর এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাহাতে উহার কার্যত 10 মিটার লম্বা একটি তারে পরিণত হয়। প্রথম ও শেষ তারের মূল প্রান্তদ্বয় যথাক্রমে দুইটি সংযোগ ক্রু A এবং B-এর সহিত যুক্ত থাকে।

কাঠের পাটাতনের পিছনে প্রথম তারটির পাশে একটি উঁচু প্র্যাটফর্মের উপর তারগুলির সমান্তরালভাবে একটি মিটার স্কেল স্থাপন করা থাকে। এই স্কেলের শূন্যদাগ এবং 100 cm-এর দাগ তারগুলির দুই প্রান্ত বরাবর থাকে। দশম তারটির পার্শ্বে পিতলের একটি মোটা পাত স্থাপন করা হয়। পাতটির দুই প্রান্তে দুইটি বন্ধনী-ক্রু C এবং D যুক্ত থাকে। তারগুলির উপর তিনপাল্লাবিশিষ্ট একটি ধাতব ফ্রেম বসান থাকে। ইহাকে জঁকি বলা হয়। ইহার একটি পাল্লা L সর্বদা ধাতব পাতটিকে স্পর্শ করিয়া থাকে। জঁকির অন্য পাল্লা দুইটি স্কেলের পার্শ্বে কাঠের পাটাতনের খাঁজের মধ্য দিয়া বাতায়ত করে। জঁকিটিকে তারের দৈর্ঘ্য বরাবর যে-কোন স্থানে লইয়া যাওয়া যায়। ইহার উপর একটি স্প্রিং-যুক্ত বোতাম থাকে। জঁকির বোতাম টিপিয়া পিতলের পাতটির সহিত তারের যে-কোন বিন্দুর বৈদ্যুতিক সংযোগ ঘটান যায়। জঁকির গায়ে একটি নির্দেশক দাগ থাকে। ঐ দাগের সাহায্যে মিটার স্কেল হইতে উহার পাঠ লওয়া যায়।

পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে তড়িচ্চালক বল নির্ণয়: পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে সূক্ষ্মভাবে তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করা যায়। 3.6 নং চিত্রে



চিত্র 3.6

গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে পরীক্ষাধীন তড়িৎ-কোষ ( $E'$ ), গ্যালভানোমিটার ( $G$ ) এবং একটি রোধ-ধাত্ব ( $R$ ) শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত করিয়া ঐ বর্তনীর একপ্রান্ত পোটেন্সিওমিটারের প্রথম তারের বন্ধনী ক্রু A-র সহিত এবং অপর প্রান্ত পোটেন্সিওমিটারের পাতটির সহিত (যে-পাতটির সহিত জঁকির সংযোগ রহিয়াছে) যুক্ত করা হইল। লক্ষ্য রাখিতে হইবে যেন পরীক্ষাধীন তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক মেৰু এবং পোটেন্সিওমিটার বর্তনীর ব্যাটারীর ধনাত্মক মেৰু উভয়েই পোটেন্সিওমিটারের প্রথম তারটির বন্ধনী ক্রু A-র সহিত যুক্ত থাকে।

মনে করি, জঁকি যখন পোটেন্সিওমিটার তারের N-বিন্দুতে স্পর্শ করে তখন গ্যালভানোমিটারের নিস্পন্দ অবস্থার সৃষ্টি হয়। এই সময় পোটেন্সিওমিটারে মিটার তারের AN-অংশে যে-বিভব পতন হয় তাহা পরীক্ষাধীন কোষ  $E'$ -এর তড়িচ্চালক বলের সমান। A এবং N বিন্দুর বিভব-বৈষম্য গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে যে-দিকে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইতে চায় পরীক্ষাধীন কোষ উহার বিপরীত দিকে তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি করিতে চায় বলিয়া এই দুই পরস্পর বিরোধী ক্রিয়ায় গ্যালভানোমিটারটি নিস্পন্দ হয়। পোটেন্সিওমিটারের মিটার স্কেল হইতে AN অংশের দৈর্ঘ্য মাপিয়া এবং মিলিঅ্যামিটার

হইতে পোটেন্সিওমিটার বর্তনীর প্রবাহমাত্রার মান দেখিয়া লইয়া সহজেই পরীক্ষাধীন কোষের তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করা যায়।

উপরের আলোচনা হইতে বুঝা যাইতেছে যে, গ্যালভানোমিটারের নিম্পন্দ অবস্থার সৃষ্টি করিবার জন্য পরীক্ষাধীন কোষের ধনাত্মক মেৰু এবং পোটেন্সিওমিটার বর্তনীর ব্যাটারীর ধনাত্মক মেৰু পোটেন্সিওমিটার তারের একই প্রান্তে যুক্ত হওয়া প্রয়োজন। তাহা না হইলে জটিল যে-কোন অবস্থানেই গ্যালভানোমিটার একই দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে।

মূলতত্ত্ব : ধরা যাক, পোটেন্সিওমিটার তারের রোধ  $= R_p$  ; এই তারের মধ্য দিয়া  $i$  মিলিঅ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইলে উহার দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য

$$V = \frac{i R_p}{1000} \text{ volt} \quad \dots \quad (i)$$

পোটেন্সিওমিটার তারের মোট দৈর্ঘ্য  $L$  cm হইলে ইহার প্রতি সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যে বিভব-পতন,  $v = \frac{V}{L} = \frac{i R_p}{1000L} \text{ volt/cm} \quad \dots \quad (ii)$

তারটির  $l$  cm দৈর্ঘ্যের বিভব-পতন পরীক্ষাধীন কোষের তড়িচ্চালক বল  $e$ -এর বিরুদ্ধে ক্রিয়া করিয়া যদি গ্যালভানোমিটারে নিম্পন্দ অবস্থা সৃষ্টি করে তাহা হইলে লেখা যায়,

$$e = v \times l = \frac{i R_p l}{1000L} \text{ volt} \quad \dots \quad (iii)$$

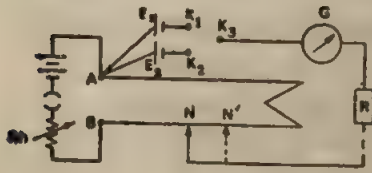
এখানে  $L =$  পোটেন্সিওমিটারের দৈর্ঘ্য  $= 1000$  cm ; সুতরাং  $R_p$ -এর মান জানা থাকিলে মিলিঅ্যামিটার হইতে  $i$ -এর পাঠ লইয়া এবং পোটেন্সিওমিটার তারের AN অংশের দৈর্ঘ্য ( $l$  cm) জানিয়া পরীক্ষাধীন কোষের তড়িচ্চালক বলের মান স্থির করা যায়।

● এ প্রসঙ্গে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, পোটেন্সিওমিটার বর্তনীর ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল যদি পরীক্ষাধীন কোষের তড়িচ্চালক বলের চেয়ে বেশি হয় তাহা হইলে পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে তড়িচ্চালক বল পরিমাপের পরীক্ষা সফল হয় না। ইহার কারণ এই যে, পোটেন্সিওমিটার তারের প্রবাহের দ্বারা উহার দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য পোটেন্সিওমিটার বর্তনীর ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বলের চেয়ে বেশি হইতে পারে না। কাজেই, পরীক্ষাধীন কোষের তড়িচ্চালক বল যদি পোটেন্সিওমিটার বর্তনীর ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বলের চেয়ে বেশি হয় তবে পোটেন্সিওমিটার তারের বিভব-বৈষম্য কোন অবস্থাতেই পরীক্ষাধীন কোষের তড়িচ্চালক বলের ক্রিয়া প্রতিমিত করিয়া গ্যালভানোমিটারের নিম্পন্দ অবস্থার সৃষ্টি করিতে পারে না।

● পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে দুইটি কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা : পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে দুইটি তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বলের অনুপাত নির্ণয় করা যায়। এক্ষেত্রে একটি দ্বিপথ চাবির (two-way key) সাহায্যে পরীক্ষাধীন কোষের যে-কোন একটিকে ইচ্ছামত গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে স্থাপন করা হয় (চিত্র 3.7)। দ্বিপথ চাবির  $K_1$  ও  $K_2$  যুক্ত থাকিলে প্রথম কোষটি এবং  $K_3$  ও  $K_4$  যুক্ত থাকিলে দ্বিতীয় কোষটি বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হয়। ব্যাটারীর সাহায্যে পোটেন্সিওমিটার বর্তনীতে



উপযুক্ত পরিমাপ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। এইবার প্রথমে  $K_1$  এবং  $K_2$ -কে



চিত্র 3.7

$$E_1 = \frac{i R_p l_1}{1000L}$$

... (i)

এখানে  $E_1$  = প্রথম তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল এবং  $l_1$  = পোটেন্সিওমিটার তারের A হইতে N পর্যন্ত অংশের দৈর্ঘ্য।

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় তড়িৎ-কোষকে গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে স্থাপন করিয়া গ্যালভানোমিটারের নিস্পন্দ অবস্থার জঁকির অবস্থান ( $N'$ ) দেখিয়া লওয়া হইল।

এক্ষেত্রে,

$$E = \frac{i R_p l_2}{1000L}$$

... (ii)

এখানে,  $E_2$  = দ্বিতীয় তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল

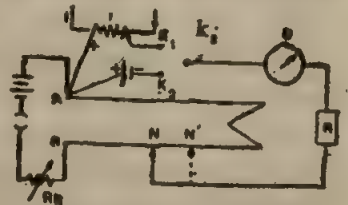
এবং  $l_2$  = পোটেন্সিওমিটার তারের A হইতে  $N'$  পর্যন্ত অংশের দৈর্ঘ্য।

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2}$  ... (iii)

কাজেই  $l_1$  এবং  $l_2$ -এর পাঠ লইয়া কোষদ্বয়ের তড়িচ্চালক বলের অনুপাত নির্ধারণ করা যায়।

পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ নির্ণয় : পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে কোন বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় করা যায়। যে বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ মাপিতে হইবে সেই বর্তনীতে একটি নিম্ন মানের রোধ  $r$  যুক্ত করা হইল। রোধটি অতি ক্ষুদ্র

বলিয়া ইহাকে বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত করার পরীক্ষাধীন তড়িৎ-প্রবাহের মান বিশেষ পরিবর্তিত হইবে না। পরীক্ষাধীন তড়িৎ-প্রবাহ  $i$  হইলে রোধ  $r$ -এর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের মান  $e = ir$ । তড়িৎ-বাহী এই রোধের ধনাত্মক প্রান্তটি A-এর সহিত এবং ঋণাত্মক প্রান্তটি দ্বিপদ্য চাবির একটি বন্ধনী কু  $K_1$ -এর সহিত যুক্ত করা হইল।



চিত্র 3.8

অনুরূপভাবে, একটি জানা তড়িচ্চালক বলাবিশিষ্ট তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক মেয়ুটি পোটেন্সিওমিটারের প্রথম তারের বন্ধনী A-এর সহিত এবং ঐ কোষের ঋণাত্মক মেয়ুটি দ্বিপদ্য চাবির বন্ধনী কু  $K_2$ -এর সহিত যুক্ত করা হইল।

$K_1$  এবং  $K_2$  যুক্ত করিয়া পরীক্ষাধীন তড়িৎ-প্রবাহের বাহক  $r$  রোধটিকে গ্যাল-

ভানোমিটার বর্তনীতে আনা হইল। মনে করি, এই অবস্থায় তারের  $l_1$  cm দৈর্ঘ্যে গ্যালভানোমিটারের নিম্নলিখিত বিস্মৃতি সৃষ্টি হইল। শর্তানুসারে,

$$e = r i = \frac{i_1 R_p l_1}{1000 L} \quad \dots \quad (i)$$

এখানে  $i_1$  = পোটেন্সিওমিটার বর্তনীর প্রবাহমাত্রা ( মিলিঅ্যাম্পিয়ার এককে ),  $R_p$  = পোটেন্সিওমিটার তারের রোধ,  $L$  = পোটেন্সিওমিটার তারের মোট দৈর্ঘ্য।

ইহার পর  $K_1$  এবং  $K_2$  যুক্ত করিয়া জানা তড়িচ্চালক বলের কোষকে গ্যালভানো-মিটার বর্তনীতে স্থাপন করা হইল। এই ক্ষেত্রে পোটেন্সিওমিটার তারের  $l_2$  cm দৈর্ঘ্যে গ্যালভানোমিটারের নিম্নলিখিত বিস্মৃতি সৃষ্টি হইলে লেখা যায়,

$$E = \frac{i_2 R_p l_2}{1000 L} \quad \dots \quad (ii)$$

এখানে,  $E$  = কোষটির তড়িচ্চালক বল

(i) এবং (ii)-এর অনুপাত লইয়া পাই

$$\frac{e}{E} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$\text{বা, } \frac{i r}{E} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$\text{বা, } i = \frac{E}{r} \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad \dots \quad (iii)$$

সুতরাং,  $E$  ও  $r$ -এর মান জানা থাকিলে  $l_1$  ও  $l_2$  মাপিয়া পরীক্ষাধীন তড়িৎ-প্রবাহ  $i$ -এর মান নির্ণয় করা যায়।

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে কোন তড়িৎ-প্রবাহ মাপিতে হইলে ঐ তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখে জানা প্রয়োজন। কেননা প্রবাহের অভিমুখ না জানিলে পরীক্ষাধীন বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত ক্ষুদ্র রোধ  $r$ -এর কোন প্রাপ্ত উচ্চতর বিভবে আছে ( অর্থাৎ, কোন প্রাপ্ত পোটেন্সিওমিটার তারের  $A$  প্রান্তে যুক্ত করিতে হইবে ) তাহা বুঝা যাইবে না।

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণনী •

**উদাহরণ 3.1** গলিত বরফে রাখা একটি তারের কুণ্ডলীয় রোধ হুইটস্টোন ব্রিজের সাহায্যে মাপিয়া  $5 \Omega$  হইল। কুণ্ডলটিকে  $100^\circ\text{C}$  উষ্ণতার উত্তপ্ত করিলে এবং ইহার সহিত একটি  $100 \Omega$  রোধ সমান্তরাল সম্বন্ধে যুক্ত করিলে ব্রিজের নিম্নলিখিত অবস্থা অপরিবর্তিত থাকে। কুণ্ডলীয় তারের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

**সমাধান :**  $0^\circ\text{C}$  উষ্ণতার তারকুণ্ডলীয় রোধ,  $(R_0) = 5 \Omega$

মনে করি,  $100^\circ\text{C}$  উষ্ণতার ইহার রোধ =  $R \Omega$

শর্তানুসারে,  $R$  ও  $100 \Omega$  রোধের সমান্তরাল সম্বন্ধে তুল্য রোধ  $5 \Omega$  হইবে।

$$\therefore \frac{1}{R} + \frac{1}{100} = \frac{1}{5}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{R} = \frac{1}{5} - \frac{1}{100} = \frac{19}{100}$$

$$\text{বা, } R = \frac{100}{19} \Omega = 5.263 \Omega \text{ (প্রায়)}$$

কাজেই,  $100^\circ\text{C}$  উষ্ণতা-বৃদ্ধির দরুন রোধের বৃদ্ধি

$$= R - R_0 = (5.263 - 5) \Omega = 0.263 \Omega$$

প্রাথমিক রোধ,  $R_0 = 5 \Omega$

কাজেই, তার কুণ্ডলীর উপাদানের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক,

$$\alpha = \frac{\text{রোধ-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক রোধ} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} = \frac{0.263}{5 \times 100} / ^\circ\text{C}$$

$$= 5.26 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$$

উদাহরণ 3.2 1000 cm দীর্ঘ একটি পোটেন্সিওমিটার তারের রোধ  $20 \Omega$ । পোটেন্সিওমিটার বর্তনীতে যুক্ত একটি মিলি-অ্যামিটারের পাঠ  $100 \text{ mA}$ ।  $1.4 \text{ V}$  বিভব-বৈষম্য বিশিষ্ট একটি লেকল্যাপ কোষের দরুন নিম্নলিখিত বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় কর।

[সংস্করণের নমুনা প্রশ্ন, 1979]

সমাধান : পোটেন্সিওমিটার তারে মোট বিভব-পতন

$$= \text{প্রবাহ (I)} \times \text{রোধ (R)}$$

$$= (100 \times 10^{-3} \text{ A}) \times (20 \Omega)$$

$$= 2 \text{ V}$$

পোটেন্সিওমিটার তারের প্রতি সেন্টিমিটারে বিভব-পতন,

$$e = \frac{2 \text{ V}}{1000 \text{ cm}} = 2 \times 10^{-3} \text{ V/cm}$$

কাজেই, লেকল্যাপ কোষের দরুন নিম্নলিখিত বিন্দুর অবস্থান যদি  $x \text{ cm}$ -এ হয় তাহা হইলে দেখা যায়,

$$1.4 = 2 \times 10^{-3} \times x$$

$$\text{বা, } x = \frac{1.4}{2 \times 10^{-3}} \text{ cm} = 700 \text{ cm}$$

উদাহরণ 3.3 একটি মিটার রিজের বামদিকের ফাঁকে (left gap)  $9 \Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলী স্থাপন করা হইল এবং ডানদিকের ফাঁকে (right gap)  $10 \Omega$  এবং  $15 \Omega$  রোধবিশিষ্ট দুইটি কুণ্ডলীর সমান্তরাল সমবায় যুক্ত করা হইল। নিম্নলিখিত বিন্দুটির অবস্থান নির্ণয় কর।

সমাধান : মিটার তারের বাম প্রান্ত হইতে নিম্নলিখিত বিন্দুর দূরত্ব  $l \text{ cm}$  হইলে দেখা যায়,

$$\frac{\text{বাম ফাঁকে যুক্ত রোধ (R}_1\text{)}}{\text{ডান ফাঁকে যুক্ত রোধ (R}_2\text{)}} = \frac{l}{100 - l} \quad \dots \quad (i)$$

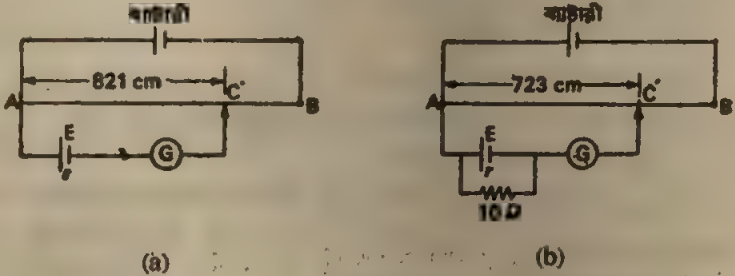
শর্তানুসারে,  $R_1 = 9 \Omega$  এবং  $R_2 = 10 \Omega$  এবং  $15 \Omega$  রোধের সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য রোধ।

$$\text{বা, } R_2 = \frac{10 \times 15}{10 + 15} = 6 \Omega$$

সুতরাং, (i) নং সমীকরণ হইতে পাই,  $\frac{9}{6} = \frac{l}{100-l}$  বা,  $l = 60 \text{ cm}$

**উদাহরণ 3.4** খোলা বর্তনী অবস্থায় (on open circuit) একটি লেকক্যালস কোষ কোন পোটেন্সিওমিটার তীরে 821 cm দৈর্ঘ্যে নিম্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি করে। কোষটির দুই তড়িদ্বারকে 10 ohm রোধের সহিত যুক্ত করিলে একই পোটেন্সিওমিটার তীরে 723 cm দৈর্ঘ্যে নিম্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায়। লেকক্যালস কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

**সমাধান :** মনে করি, লেকক্যালস কোষের তড়িচ্চালক বল  $E$  এবং ইহার অভ্যন্তরীণ



চিত্র 3.9

রোধ  $r$ । 3.9 (a) চিত্রে AB হইল পোটেন্সিওমিটার তার এবং C হইল লেকক্যালস কোষের ‘খোলা-বর্তনী’ অবস্থায় নিম্পন্দ বিন্দুর অবস্থান। অনুবৃত্তভাবে, কোষটির দুই তড়িদ্বারের সহিত 10 ohm মানের একটি রোধ যুক্ত করিলে নিম্পন্দ বিন্দুটি C হইতে C' বিন্দুতে সরিয়া বাইবে (চিত্র 3.9 b)।

পোটেন্সিওমিটারের তারের কোন অংশের বিভব-পতন ঐ অংশের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক।

সুতরাং লেখা যায়,  $E \propto l_1$  ... (i)

এখানে,  $l_1$  হইল পোটেন্সিওমিটার তারের AC অংশের দৈর্ঘ্য।

অনুবৃত্তভাবে, 10 ohm রোধের সহিত যুক্ত অবস্থায় লেকক্যালস কোষের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য  $v$  হইলে

$$v = \frac{E}{10+r} \times 10 \propto l_2 \quad \dots (ii)$$

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,

$$\frac{E}{v} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$\text{বা, } \frac{10+r}{10} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{821}{723} \quad \text{বা, } r = 1.36 \text{ ohm}$$

### সার-সংক্ষেপ

পোস্ট-অফিস বক্স, মিটার ব্রিজ ইত্যাদি যন্ত্রে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি কাজে লাগান হয়। এই যন্ত্রে গ্যালভানোমিটার নিম্পন্দ অবস্থায় আসিলে নিম্নের শর্তটি পালিত হয় :

$$\frac{\text{প্রথম বাহুর রোধ (P)}}{\text{দ্বিতীয় বাহুর রোধ (Q)}} = \frac{\text{তৃতীয় বাহুর রোধ (R)}}{\text{চতুর্থ বাহুর রোধ (S)}}$$



মিটার-ব্রিজ, পোস্ট অফিস বক্স ইত্যাদি বস্তুর সাহায্যে অজানা রোধের মান নির্ণয় করা যায়।

পোটেনসিওমিটার একটি সুবেদী যন্ত্র। এই যন্ত্রের সাহায্যে অতি সামান্য বিভব-বৈষম্যও অতি সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়। কোবের তড়িচ্চালক বল, অজানা তড়িৎ-প্রবাহ ইত্যাদি মাপিবার জন্য পোটেনসিওমিটার যন্ত্রটি বিশেষ উপযোগী।

### প্রশ্নাবলী 3

#### হুইটস্টন প্রশ্নাবলী

1. রোধ পরিমাপের উদ্দেশ্যে হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনী গঠনের সময় একটি ছাত্র গ্যালভানোমিটারের স্থানে ব্যাটারী এবং ব্যাটারীর স্থানে গ্যালভানোমিটার যুক্ত করিল। ইহাতে রোধের পরিমাপের কোন অসুবিধা হইবে কি?
2. পোটেনসিওমিটারের সাহায্যে একটি তড়িৎ-কোবের তড়িচ্চালক বল মাপিবার সময় দেখা গেল যে, পোটেনসিওমিটার তারের মধ্যে কোন নিম্পন্দ বিন্দু পাওয়া যাইতেছে না। কখন এইরূপ হইতে পারে? এইরূপ লক্ষ্য করিলে তুমি বর্তনীর কীরূপ পরিবর্তন ঘটাইবে?
3. যদি গ্যালভানোমিটার এবং ব্যাটারীর অবস্থান অদল-বদল করা হয় তাহা হইলে হুইটস্টোন ব্রিজের নিম্পন্দ অবস্থার কী পরিবর্তন হইবে? ব্যাখ্যা কর।
4. গ্যালভানোমিটারের রোধ বদলাইলে হুইটস্টোন ব্রিজের নিম্পন্দ অবস্থার কীরূপ পরিবর্তন হইবে? যুক্তিসহ উত্তর দাও।
5. যদি ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল পরিবর্তিত হয় তাহা হইলে হুইটস্টোন ব্রিজের নিম্পন্দ অবস্থার কোন পরিবর্তন হইবে কি? ব্যাখ্যা কর।
6. পোটেনসিওমিটার বর্তনীতে ব্যাটারীর সহিত একটি পরিবর্তনীয় রোধ (variable resistance) যুক্ত থাকে কেন? ব্যাখ্যা কর।
7. কোন পোটেনসিওমিটারের পরীক্ষার দেখা গেল যে, জিকির সাহায্যে পোটেনসিওমিটার তারের যে-কোন বিন্দুতেই স্পর্শ করা হোক না কেন গ্যালভানোমিটার সর্বদা একই দিকে বিকল্পিত হইতেছে। কী কী কারণে এইরূপ হইতে পারে?
8. পোটেনসিওমিটারের সাহায্যে কোন তড়িৎ-প্রবাহ পরিমাপের ক্ষেত্রে ঐ তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ জানার প্রয়োজন হয়। ইহার কারণ কী?
9. পোটেনসিওমিটার তার এবং মিটার ব্রিজের তারের উপাদানের প্রকৃতি কীরূপ হওয়া উচিত? এইরূপ একটি উপাদানের নাম কর।
10. মিটার ব্রিজের তারটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল সর্বত্র সমান না হইলে কী অসুবিধা হইবে?

#### নিবন্ধনীয় প্রশ্নাবলী

11. হুইটস্টোন ব্রিজ কাকে বলে? চিত্রসহ ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

12. একটি দুইটস্টোন রিজের সাহায্যে রোধ মাপিবার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। (নিম্পন্দ অবস্থার শর্তের গাণিতিক নিবৃণণ করিতে হইবে না) [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982]

13. অজানা রোধের মান নির্ণয়ে দুইটস্টোন রিজের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987]

14. (a) একটি মিটার রিজ ব্যবস্থার তড়িৎ-বর্তনীর চিত্র অঙ্কন কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

(b) পোস্ট-অফিস বক্সের বর্ণনা দাও। ইহার সাহায্যে কীরূপে অজানা রোধের মান নির্ণয় করা যায়?

15. মিটার রিজ কাহাকে বলে? ইহার সাহায্যে কোন পরিবাহীর রোধ মাপিবার পদ্ধতি আলোচনা কর।

16. পোটেন্সিওমিটার যন্ত্রের বর্ণনা দাও। ইহার সাহায্যে কোন তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করা যায় কীরূপে? পোটেন্সিওমিটারের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

17. পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ নির্ণয় করিবার পরীক্ষা পদ্ধতি আলোচনা কর।

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

18. কোন দুইটস্টোন রিজের চারিটি বাহুতে পর পর  $5\Omega$ ,  $20\Omega$ ,  $10\Omega$  এবং  $80\Omega$  রোধ যুক্ত রহিয়াছে।  $80\Omega$  রোধবিশিষ্ট বাহুর সহিত সমান্তরালভাবে কী মানের রোধ যুক্ত করিলে রিজটি প্রতিমিত (balanced) হইবে? [80Ω]

19. একটি দুইটস্টোন রিজের প্রথম, দ্বিতীয় এবং তৃতীয় বাহুর রোধ যথাক্রমে  $5\Omega$ ,  $15\Omega$  এবং  $15\Omega$ । চতুর্থ বাহুতে কত মানের রোধ স্থাপন করিলে গ্যালভানোমিটারের নিম্পন্দ অবস্থার সূচি হইবে? [45Ω]

20. 1000 cm দীর্ঘ একটি পোটেন্সিওমিটারের রোধ  $20\Omega$ । পোটেন্সিওমিটার বর্তনীতে যুক্ত একটি মিলি-অ্যামিটারের পাঠ  $80\text{ mA}$ । 1.08 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট একটি তড়িৎ-কোষের দ্বারা নিম্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় কর। [675 cm]

21. কোন দুইটস্টোন রিজ বর্তনীর চারিটি বাহুতে  $5\Omega$ ,  $15\Omega$ ,  $R\Omega$  এবং  $20\Omega$  রোধ পর পর যুক্ত রহিয়াছে। একটি গ্যালভানোমিটারের একপ্রান্ত  $5\Omega$  ও  $15\Omega$ -এর সংযোগস্থলে এবং অপর প্রান্ত  $20\Omega$  ও  $R\Omega$ -এর সংযোগস্থলে যুক্ত থাকিলে গ্যালভানোমিটারে নিম্পন্দ অবস্থার সূচি হয়।  $R$ -এর মান নির্ণয় কর। ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল ও অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে 9 volt ও  $4\Omega$  হইলে এই অবস্থার ব্যাটারীর মধ্য দিয়া কী পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ বাইবে? [60Ω, 0.45 A]

22. একটি তড়িৎ-কোষ 2 ওহম রোধবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইতেছে। এই রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য একটি তড়িৎ-বাহী পোটেন্সিওমিটার তারের 70 cm-এর বিভব-বৈষম্য দ্বারা প্রতিমিত হয়। যখন উক্ত রোধ-কুণ্ডলীটির সমান্তরাল-তারের  $1\Omega$  রোধবিশিষ্ট অপর একটি কুণ্ডলী যুক্ত করা হয়, তখন সমান্তরাল সমবায়ের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য তড়িৎ-বাহী পোটেন্সিওমিটারের 50 cm-এর বিভব-বৈষম্য দ্বারা প্রতিমিত হয়। তড়িৎ-কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধের মান কত? [0.5Ω]

23. একটি পোটেন্সিওমিটার তারের রোধ  $8\Omega$  এবং ইহার মোট দৈর্ঘ্য 8 মিটার। একটি উচ্চমানের রোধ-বাক্স এবং 2 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট একটি সংরক্ষক কোষ পোটেন্সিওমিটার তারের সহিত শ্রেণীতে যুক্ত করা হইল। রোধ-বাক্সে কত মানের রোধ রাখিলে পোটেন্সিওমিটার তারের প্রতি মিলিমিটার দৈর্ঘ্যে এক মাইক্রো-ভোল্ট বিভব-পতন হইবে ?

[1992  $\Omega$ ]

24. একটি পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ পরিমাপের পরীক্ষার যে-নিম্ন মানের রোধ ব্যবহৃত হইল উহার মান  $0.002 \text{ ohm}$ । পোটেন্সিওমিটার তারের প্রতি সেন্টিমিটারের বিভব-বৈষম্য  $16 \times 10^{-6} \text{ volt}$ । যদি পোটেন্সিওমিটার তারের 750 cm দৈর্ঘ্যে নিম্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায় তাহা হইলে তড়িৎ-প্রবাহ নির্ণয় কর।

[6 A]

25. একটি পোটেন্সিওমিটার তারের তড়িৎ-প্রবাহ এইরূপভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হইল বাহ্যতে গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে  $1.018 \text{ volt}$  তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট কোষ রাখিলে পোটেন্সিওমিটার তারের 690 cm দৈর্ঘ্যে নিম্পন্দ বিন্দু পাওয়া গেল। ঐ কোষের পরিবর্তে একটি নির্জল কোষ ব্যবহার করিলে 900 cm দৈর্ঘ্যে নিম্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায়। নির্জল কোষের তড়িচ্চালক বল কত ?

[1.527 volts]

26. বর্তনী খোলা অবস্থায় একটি তড়িৎ-কোষ একটি পোটেন্সিওমিটার তারে 190 cm দৈর্ঘ্যে নিম্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি করে। ঐ কোষের সহিত শ্রেণী সম্বন্ধে একটি  $15\Omega$  রোধ যোগ করিলে রোধের প্রান্ত দুইটির বিভব-প্রভেদ তারটির 175 cm দৈর্ঘ্যে নিম্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি করে। কোষটির আভ্যন্তরীণ রোধ কত ?

[অরেন্ট এস্ট্রোল, 1981] [1.29  $\Omega$  (থায়) ]



## তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল

*What is not fully understood is not possessed.*

—Goethe

### 4.1 জুলের সূত্র

কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহাতে তাপ উৎপন্ন হয়। এই ক্রিয়াকে তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া বলা হয়। দৈনন্দিন জীবনে প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপের নানা ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে। ইলেকট্রিক হিটার, ইলেকট্রিক ইন্ড্রি, বৈদ্যুতিক বাতি ইত্যাদিতে প্রবাহের তাপীয় ফল কাজে লাগান হয়। 1841 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী জুল তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল-সম্পর্কে তিনটি সূত্র বিবৃত করেন। ইহাদিগকে জুলের সূত্র (Joule's laws) বলা হয়।

জুলের সূত্র তিনটি নিম্নরূপ—

(1) প্রবাহমানের সূত্র (Law of current) : নির্দিষ্ট রোধ-বিশিষ্ট একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়া নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ঐ পরিবাহীতে উদ্ভূত তাপ (H) প্রবাহমাত্রা I-এর বর্গের সমানুপাতিক। অর্থাৎ, পরিবাহীর রোধ (R) এবং সময় (t) স্থির থাকিলে,

$$\text{উদ্ভূত তাপ, } H \propto I^2$$

(2) রোধের সূত্র (Law of resistance) : কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে পরিবাহীতে যে-তাপ উদ্ভূত হয় তাহা পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক। অর্থাৎ, প্রবাহমাত্রা I এবং সময় t অপরিবর্তিত থাকিলে,

$$\text{উদ্ভূত তাপ, } H \propto R$$

(3) সময়ের সূত্র (Law of time) : নির্দিষ্ট রোধবিশিষ্ট পরিবাহীর মধ্য দিয়া নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ঐ পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ সময়ের সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ, প্রবাহমাত্রা I এবং পরিবাহীর রোধ (R) অপরিবর্তিত থাকিলে,

$$\text{উদ্ভূত তাপ, } H \propto t$$

উপরের সূত্র তিনটিকে একত্রিত করিয়া লেখা যায় যে,

$$\text{উদ্ভূত তাপ, } H \propto I^2 R t$$

$$\text{বা, } H = k \cdot I^2 R t$$

... (4.1)

এখানে k হইল সমানুপাতিক ধ্রুবক। পরবর্তী অনুচ্ছেদে এই ধ্রুবকটির মান নির্ণয় করা হইয়াছে।

### 4.2 জুলের সূত্রের তাত্ত্বিক ব্যাখ্যা

তড়িৎ-প্রবাহের ফলে কৃত কার্যের পরিমাণ নির্ধারণ করিয়া সহজেই জুলের সূত্রগুলি প্রতিষ্ঠা করা যায়।



AB একটি পরিবাহী (চিত্র 4.1), ইহার রোধের মান  $R \text{ ohm}$ । ধরা যাক,  $t$  সেকেন্ড সময় ধরিয়া ইহার মধ্য দিয়া  $I$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল।

সুতরাং, ওহ্মের সূত্রানুসারে, A ও B বিন্দুর বিভব-বৈক্য

$$V = IR$$

... (i)

বিভব-বৈক্যমের সংজ্ঞানুসারে, AB পরিবাহীর A-প্রান্ত হইতে B-প্রান্তে একক পরিমাণ তড়িদাধান লইয়া গেলে  $V$  একক কার্য সম্পাদিত হইবে। এখন  $t$  সেকেন্ড সময় ধরিয়া পরিবাহীর মধ্য দিয়া  $I$  অ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাধ্য পাঠাইলে পরিবাহীর এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে মোট যে-পরিমাণ তড়িদাধান যাইবে তাহার মান

$$Q = It$$

... (ii)

সুতরাং, কৃত কার্যের পরিমাণ,  $W = \text{বিভব-বৈক্য} \times \text{প্রবাহিত তড়িদাধান}$   
 $= (IR) (It) = I^2 R t$  জুল

... (iii)

কিন্তু আমরা জানি,  $W = JH$ , এখানে  $J = \text{যান্ত্রিক তুল্যাক্ষ} = 4.2 \text{ জুল/ক্যালরি}$

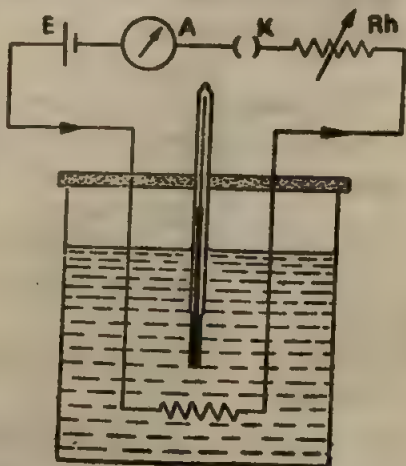
$$\text{বা, } H = \frac{W}{J} = \frac{I^2 R t}{4.2} \text{ ক্যালরি} = 0.24 I^2 R t \text{ ক্যালরি} \quad \dots (4.2)$$

(4.1) ও (4.2)-নং সমীকরণের তুলনা করিয়া বুঝা যাইতেছে যে, (4.1)-এর সমানুপাতিক ধ্রুবকটির মান 0.24।

### 4.3 জুলের সূত্রের সত্যতা নিরূপণ

(i) প্রবাহমাধ্যর সূত্রের সত্যতার প্রমাণ : এই সূত্রের সত্যতা প্রমাণের জন্য একটি ক্যালরিমিটার ব্যবহৃত হয়। ইহাকে আংশিকভাবে জলপূর্ণ করা হয়। ক্যালরিমিটারে একটি তারের কুণ্ডলী জলে সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত অবস্থায় থাকে। কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয় দুইটি বন্ধনী-কুর সহিত যুক্ত থাকে। একটি তড়িৎ-কোষ  $E$ , একটি অ্যাম্পিটার  $A$ , একটি রিওস্ট্যাট  $R_h$  এই কুণ্ডলীর সহিত শ্রেণী সম্বারে যুক্ত।

রিওস্ট্যাটের সাহায্যে কুণ্ডলীর তড়িৎ-প্রবাহের মান নিয়ন্ত্রিত করিয়া কুণ্ডলীতে একটি নির্দিষ্ট মানের প্রবাহমাধ্য (ধরি,  $I_1$ ) প্রতিষ্ঠা করা হইল। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া একটি নির্দিষ্ট সময় (ধরি,  $T \text{ sec}$ ) ধরিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে



চিত্র 4.2

ক্যালরিমিটার ও উহার মধ্যবর্তী জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি হইল  $\theta_1$ । ক্যালরিমিটারের জলসম  $W$  হইলে এবং ক্যালরিমিটারের জলের পরিমাণ  $m$  হইলে, উক্ত তাপ

$$H_1 = (W + m)\theta_1 \quad \dots \quad (i)$$

ইহার পর ক্যালরিমিটারের জলকে পুনরায় ঘরের উষ্ণতার আনিয়া রিওস্ট্যাটের সাহায্যে কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার মান কমাইয়া  $I_2$  করা হইল। একই সময় ( $T$  sec) ধরিয়া কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া এই তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ধরি, এইবার ক্যালরিমিটার ও উহার মধ্যবর্তী জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধির মান  $\theta_2$ । এক্ষেত্রে উক্ত তাপের পরিমাণ

$$H_2 = (W + m)\theta_2 \quad \dots \quad (ii)$$

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যাইবে যে,  $\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{H_1}{H_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2}$  বা,  $H \propto I^2$  ... (iii)

এই পরীক্ষায়  $R$  এবং  $t$ -এর মান স্থির রাখা হইয়াছে। ইহা হইতে প্রবাহমাত্রার সূত্রটি প্রমাণিত হইতেছে।

(ii) রোধের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ :  $R_1$ -রোধবিশিষ্ট একটি পরিবাহীকে একটি আংশিক জলপূর্ণ ক্যালরিমিটারে নির্মজ্জিত অবস্থায় রাখিয়া পূর্বের অনুরূপ বর্তনী গঠন করা হইল। রিওস্ট্যাটের মান নিয়ন্ত্রণ করিয়া পরিবাহীর মধ্য দিয়া  $I$  প্রবাহমাত্রা পাঠান হইল। একটি নির্দিষ্ট সময় ( $t$  sec) ধরিয়া কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া ঐ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। মনে করি, ইহাতে ক্যালরিমিটার ও জলের  $\theta_1$  উষ্ণতা বৃদ্ধি হইল।

$$\text{অর্থাৎ, উক্ত তাপ } H_1 = (W + m)\theta_1 \quad \dots \quad (iv)$$

এইবার  $R_1$ -রোধবিশিষ্ট কুণ্ডলীর পরিবর্তে  $R_2$ -রোধবিশিষ্ট অপর একটি কুণ্ডলীকে ক্যালরিমিটারের জলে নির্মজ্জিত অবস্থায় রাখা হইল। ক্যালরিমিটারের জলকে পুনরায় ঘরের উষ্ণতার আনিয়া রিওস্ট্যাটের সাহায্যে কুণ্ডলীতে একই প্রবাহমাত্রা ( $I$ ) প্রতিষ্ঠা করা হইল। একই সময় ( $t$  sec) ধরিয়া ঐ প্রবাহমাত্রা পাঠাইয়া ক্যালরিমিটার ও জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি  $\theta_2$  নির্ণয় করা হইল। এক্ষেত্রে উক্ত তাপের পরিমাণ,

$$H_2 = (W + m)\theta_2 \quad \dots \quad (v)$$

$$\text{পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যাইবে যে, } \frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{H_1}{H_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad \dots \quad (vi)$$

$$\text{বা, } H \propto R \quad \dots \quad (vii)$$

এখানে  $I$  এবং  $t$  স্থির রাখিয়াছে। সুতরাং, (vii) নং সমীকরণ হইতে রোধের সূত্রটি প্রমাণিত হইল।

(iii) সময়ের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ : একটি নির্দিষ্ট রোধবিশিষ্ট পরিবাহী লইয়া উহাকে আংশিক জলপূর্ণ ক্যালরিমিটারে রাখিয়া রিওস্ট্যাটের সাহায্যে বর্তনীতে একটি নির্দিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ ( $I$  অ্যাম্পিয়র) প্রতিষ্ঠা করা হইল। একটি নির্দিষ্ট সময়  $t_1$  সেকেন্ড ধরিয়া কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া ঐ প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে ক্যালরিমিটার ও জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি  $\theta_1$  হইলে,

$$\text{উক্ত তাপ } H_1 = (W + m)\theta_1 \quad \dots \quad (viii)$$

প্রবাহ বন্ধ করিয়া কিছুক্ষণ অপেক্ষা করা হইল বাহাতে ক্যালরিমিটার ও জল পুনরায় ঘরের উষ্ণতার চলিয়া আসে। ইহার পর কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া  $t_2$  সেকেন্ড ধরিয়া একই পরিমাণ প্রবাহমাত্রা পাঠান হইল। ইহাতে জল ও ক্যালরিমিটারের উষ্ণতা-বৃদ্ধি হইল  $\theta_2$ ।

সুতরাং, এক্ষেত্রে উদ্ভূত তাপ,  $H_s = (W + m)\theta_s$

... (ix)

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যাইবে যে,

$$\frac{\theta_1}{\theta_s} = \frac{H_1}{H_s} = \frac{t_1}{t_s} \quad \text{বা, } H \propto t \quad \dots (x)$$

এখানে প্রবাহমাত্রা ও রোধ স্থির রাখাচ্ছে। কাজেই, সমীকরণ (x) হইতে সময়ের সূত্রটি প্রমাণিত হইল।

#### 4.4 ঠৈছ্যতিক পদ্ধতিতে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাক্ষ নির্ণয়

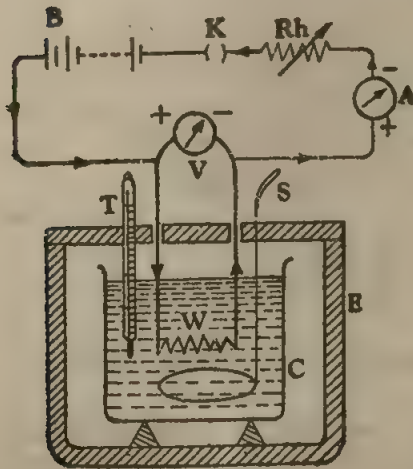
R-রোধবিশিষ্ট কোন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া I অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে t সেকেন্ডে কুণ্ডলীতে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ

$$H = \frac{I^2 R t}{J}$$

সুতরাং, তাপের যান্ত্রিক তুল্যাক্ষ,  $J = \frac{I^2 R t}{H}$  ... (4.3)

তড়িৎ-প্রবাহ (I), কুণ্ডলীর রোধ (R), সময় (t) এবং উৎপন্ন তাপ (H) জানা থাকিলে সমীকরণ (4.3) হইতে J-এর মান নির্ণয় করা যায়। নিম্নে J-এর মান নির্ধারণ

করিবার একটি পদ্ধতির আলোচনা করা হইল।



চিত্র 4.3

(B) এবং একটি প্লাগ চাবি K যুক্ত থাকে। তাপনকুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য মাপিবার জন্য উহার সহিত সমান্তরালভাবে একটি ভোল্টমিটার (V) যুক্ত করা হয়।

ক্যালরিমিটারে কিছু পরিমাণ তরল (সাধারণত কোন তেল) লওয়া হয়। থার্মোমিটার হইতে ইহার প্রাথমিক উষ্ণতা ( $\theta_1$ ) মাপা হয়। প্লাগ চাবি বন্ধ করিয়া তাপনকুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে তরলের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতে

এই পরীক্ষা ব্যবস্থায় একটি বিশেষ ধরনের ক্যালরিমিটার ব্যবহৃত হয়। ইহাকে জুলের ক্যালরিমিটার বলা হয়। ইহাতে একটি তাপনকুণ্ডলী (heating coil) W প্রবেশ করান থাকে। ক্যালরিমিটারের মুখে একটি ঢাকনা থাকে। ঢাকনাটির একটি ছিদ্রের মধ্য দিয়া একটি থার্মোমিটার (T) এবং অপর একটি ছিদ্রের মধ্য দিয়া একটি আলোড়ক (S) প্রবেশ করানো থাকে। তাপনকুণ্ডলী W-এর সহিত শ্রেণী সম্বন্ধে একটি পরিবর্তনীয় রোধ (Rh), একটি অ্যামিটার (A), একটি ব্যাটারী

ধাকিবে। এই সময় আলোড়কের সাহায্যে তরলকে নাড়াইতে হইবে বাহাতে তাপন-কুণ্ডলীতে উষ্ণতাপ উহার সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে। স্টপ-ওয়াচের সাহায্যে একটি নির্দিষ্ট সময় (১ সেকেন্ড, ধরি) ধরিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। মনে করি, তরলের চূড়ান্ত উষ্ণতা =  $\theta_2$ ।

সুতরাং, তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি,  $\theta = (\theta_2 - \theta_1)$ । তাপনকুণ্ডলীর সহিত সমান্তরাল-ভাবে যুক্ত ভোল্টমিটার হইতে তাপনকুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য  $V$  এবং অ্যাম্পিটার  $A$ -এর সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ  $I$ -এর পাঠ লওয়া হইল। এই দুই পাঠ হইতে কুণ্ডলীর রোধ  $R$ -এর মান পাওয়া যাইবে।

মনে করি, আলোড়ক ও ক্যালরিমিটারের ভর =  $m'$

ক্যালরিমিটারের তরলের ভর =  $m$

ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ =  $s'$

ক্যালরিমিটারের তরলের আপেক্ষিক তাপ =  $s$

সুতরাং তাপকুণ্ডলীতে উষ্ণতাপ,  $H = (ms + m's') \times (\theta_2 - \theta_1)$  ... (i)

সমীকরণ (i) ও (4.3) হইতে পাই,

$$J = \frac{I^2 R t}{H} = \frac{I^2 R t}{(ms + m's') (\theta_2 - \theta_1)} \text{ joules/cal} \quad \dots \quad (ii)$$

এই সমীকরণ হইতে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাক্ষ  $J$ -এর মান নির্ণয় করা যায়।

## 4.5 বৈদ্যুতিক শক্তি ও বৈদ্যুতিক ক্ষমতা

(Electric energy and electric power)

তড়িৎ-শক্তির কোন উৎস যখন কোন বর্তনীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান তখন ঐ উৎসের শক্তি ব্যয়িত হয়। উৎসটি একটি নির্দিষ্ট হারে কার্য করে।  $E$  তড়িচ্চালক বলসম্পন্ন কোন তড়িৎ-উৎস কোন বর্তনীর মধ্য দিয়া ১ সেকেন্ডে ধরিয়া  $I$  তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে তড়িৎ-উৎস-কর্তৃক কৃত কার্যের পরিমাণ,

$$W = \text{তড়িচ্চালক বল} \times \text{প্রবাহিত তড়িদাধান} \\ = E \times It \quad \dots \quad (4.4)$$

কার্য করিবার হারকে ক্ষমতা বলা হয় (প্রথম খণ্ড, বলবিজ্ঞান অধ্যায়, অনুচ্ছেদ 7.4 দ্রষ্টব্য)। সুতরাং, তড়িৎ-উৎসটির বৈদ্যুতিক ক্ষমতা,

$$P = \frac{W}{t} = \frac{EIt}{t} = EI$$

$$\text{অর্থাৎ, বৈদ্যুতিক ক্ষমতা} = \text{তড়িচ্চালক বল} \times \text{প্রবাহমাত্রা} \quad \dots \quad (4.5)$$

বৈদ্যুতিক শক্তি ও ক্ষমতার একক : তড়িচ্চালক বলের ব্যবহারিক একক ভোল্ট, তড়িৎ-প্রবাহের ব্যবহারিক একক অ্যাম্পিয়ার এবং সময়ের ব্যবহারিক একক সেকেন্ড।

সুতরাং, সমীকরণ (4.4) হইতে দেখা যাইতেছে যে, বৈদ্যুতিক শক্তির ব্যবহারিক একক

$$= 1 \text{ ভোল্ট} \times 1 \text{ অ্যাম্পিয়ার} \times 1 \text{ সেকেন্ড}$$

$$= 10^8 \text{ সি. জি. এস. e.m.u. একক বিভব-বৈষম্য} \times 10^{-1} \text{ সি. জি. এস. e.m.u.}$$

$$\text{একক প্রবাহমাত্রা} \times 1 \text{ সেকেন্ড}$$



$= 10^7 \times$  বৈদ্যুতিক শক্তির সি. জি. এস. একক  $= 10^7$  আর্গ  $= 1$  জুল  
বৈদ্যুতিক ক্ষমতার ব্যবহারিক একক ওয়াট (watt)। তড়িৎ-শক্তির যে-উৎস প্রতি  
সেকেন্ডে 1 জুল কার্য করে উহার ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলা হয়।

$$\text{অর্থাৎ, } \boxed{1 \text{ ওয়াট} = 1 \text{ জুল/সেকেন্ড}} \quad \dots \quad (4.6)$$

(4.5) নং সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\text{ওয়াট} = \text{ভোল্ট} \times \text{অ্যাম্পিয়ার} \quad \dots \quad (4.7)$$

বৈদ্যুতিক ক্ষমতাকে ওয়াট অপেক্ষা বড় একটি এককের সাহায্যেও প্রকাশ করা হয়।  
ইহার মান ওয়াটের 1000 গুন। ইহাকে কিলোওয়াট (kilowatt) বলা হয়। অর্থাৎ,  
1 কিলোওয়াট  $= 10^3$  ওয়াট।

#### 4.6 শক্তির একক

W ওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন বৈদ্যুতিক শক্তির কোন উৎস যদি t সেকেন্ডে যথেষ্ট শক্তি  
সরবরাহ করে তাহা হইলে উহা মোট Wt ওয়াট-সেকেন্ড কার্য করে। সমীকরণ (4.6)  
হইতে পাই,

$$1 \text{ জুল} = 1 \text{ ওয়াট-সেকেন্ড}$$

অর্থাৎ, জুলকে 'ওয়াট-সেকেন্ড'-ও বলা যায়। এই এককটি ক্ষুদ্র বলিয়া ব্যবহারিক  
ক্ষেত্রে ইহা অপেক্ষা বৃহত্তর এককের প্রচলন আছে, যথা—ওয়াট-ঘণ্টা (watt-hour) ও  
কিলোওয়াট-ঘণ্টা (kilowatt-hour)।

$$1 \text{ ওয়াট-ঘণ্টা} = 1 \text{ ওয়াট} \times 1 \text{ ঘণ্টা} = 1 \text{ ওয়াট} \times 3600 \text{ সেকেন্ড} = 3600 \text{ জুল}$$

$$1 \text{ কিলোওয়াট-ঘণ্টা} = 1 \text{ কিলোওয়াট} \times 1 \text{ ঘণ্টা}$$

$$= 10^3 \text{ ওয়াট} \times 3600 \text{ সেকেন্ড} = 36 \times 10^5 \text{ জুল}$$

বিদ্যুৎ-শক্তি সরবরাহকারী কোম্পানীগুলি বৈদ্যুতিক শক্তিকে কিলোওয়াট-ঘণ্টা এককে  
প্রকাশ করে। এই এককের অপর নাম বোর্ড অফ্‌ স্ট্রেড একক বা B.O.T. একক।

কাজেই, বোর্ড অফ্‌ স্ট্রেড একক বা কিলোওয়াট-ঘণ্টা

$$= \frac{\text{ভোল্ট} \times \text{অ্যাম্পিয়ার} \times \text{ঘণ্টা}}{1000} \quad \dots \quad (4.8)$$

বাড়িতে বিদ্যুৎ সরবরাহ লাইনে যে-বৈদ্যুতিক মিটার যুক্ত থাকে উহার সাহায্যে  
কিলোওয়াট-ঘণ্টা এককেই ব্যায়িত তড়িৎ-শক্তি মাপা হয়। তড়িৎ-সরবরাহকারী  
কোম্পানীগুলিও এই একক অনুসারেই ফ্রেতাঙ্গের নিকট বিল পাঠায়।

● তোমরা লক্ষ্য করিয়া থাকিবে যে, বৈদ্যুতিক ব্যতির গায়ে উহার ক্ষমতার  
মান লিপিবদ্ধ করা থাকে। ঐ ক্ষমতা পাইবার জন্য বাতিকে কোন বিভব-বৈষম্যের  
উৎসের সহিত যুক্ত করিতে হইবে ব্যতির গায়ে তাহাও লেখা থাকে। কোন বৈদ্যুতিক  
বাতির গায়ে “220V-100W” লেখা থাকিলে ইহার ভাৎসর্প এই যে, বাতিটিকে  
220 ভোল্ট বিভব-বৈষম্যের উৎসের সহিত যুক্ত করিলে উহাতে 100 ওয়াট হারে শক্তি  
ব্যায়িত হইবে।

ভাষার অবস্থার এই বার্তার মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের মান এবং ইহার

ফিলামেন্টের রোধের মান কত হয় তাহা সহজেই নির্ণয় করা যায়। আমরা জানি, ক্ষমতা (ওয়াট) = প্রবাহমাত্রা (অ্যাম্পিয়ার)  $\times$  বিভব-বৈষম্য (ভোল্ট)

$$\therefore 100 = \text{প্রবাহমাত্রা (অ্যাম্পিয়ার)} \times 220$$

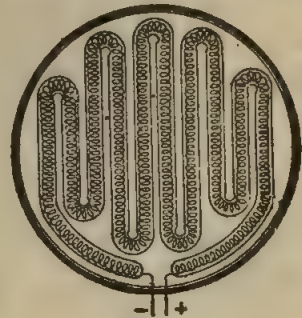
$$\therefore \text{প্রবাহমাত্রা} = \frac{100}{220} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$\text{কাজেই, ব্যতিটির রোধ} = \frac{\text{বিভব-বৈষম্য}}{\text{তড়িৎ-প্রবাহ}} = \frac{220}{\frac{100}{220}} = 484 \Omega$$

#### 4.7 তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগ

তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল নানা ব্যবহারিক প্রয়োজন মিটাইতেছে।

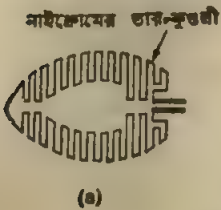
(i) বৈদ্যুতিক স্টোভ, হিটার, ইন্ড্রি ইত্যাদির কার্যনীতি তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়ার উপর নির্ভর করে। বৈদ্যুতিক হিটারে ফায়ার ক্রে-জাতীয় তাপসহনক্ষম অপরিবাহী পদার্থের একটি কাঠামো থাকে। এই কাঠামোর উপর একটি তার-কুণ্ডলী জড়ানো থাকে (চিত্র 4.4)। রোধটি সাধারণত নাইক্রোম নামক একটি সংকর ধাতুর দ্বারা তৈয়ারী। ইহা প্রকৃতপক্ষে নিকেল, লোহা ও ক্রোমিয়ামের সংকর ধাতু। নাইক্রোম অধিক উষ্ণতা সহ্য করিতে পারে এবং অধিক উষ্ণতায়ও ইহা জারিত হয় না। ইলেকট্রিক ইন্ড্রিতেও নাইক্রোমের তার ব্যবহৃত হয়। ইহাতে একটি অঙ্গের কাঠামোর উপর নাইক্রোমের



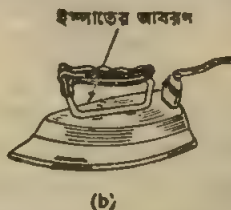
চিত্র 4.4

সবু তার জড়ানো থাকে (চিত্র 4.5 a)। তার জড়ানো এই কাঠামোটি থাকে একটি ইম্পাতের আবরণের মধ্যে। ইম্পাতের এই আবরণের সহিত নাইক্রোম তারের বৈদ্যুতিক

যোগাযোগ এড়াইবার জন্য এই তারের কুণ্ডলীকে অঙ্গের দুইটি পাতের মধ্যে স্থাপন করা হয়। অঙ্গ বিদ্যুতের কুপরিবাহী, কিন্তু তাপের সুপরিবাহী। কাজেই, নাইক্রোম তারের কুণ্ডলীকে দুইটি অঙ্গের পাতের মধ্যে রাখিলে



(a)



(b)

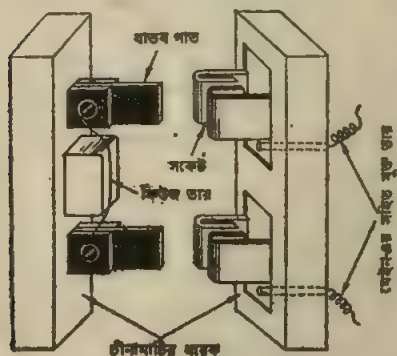
চিত্র 4.5

উহা লোহার আবরণ হইতে অন্তরিত (insulated) অবস্থায় থাকে কিন্তু ঐ তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উৎপন্ন তাপ অঙ্গের মধ্য দিয়া পরিবাহিত হইয়া লোহার আবরণকে উত্তপ্ত করে।

(ii) বিজলী ব্যতিতেও প্রকৃতপক্ষে তড়িৎ-প্রবাহের দ্বারা উৎপন্ন তাপ কাজে লাগান হয়। উচ্চ গলনাঙ্কবিশিষ্ট উপাদান (যেমন—টাংস্টেন, কার্বন ইত্যাদি)-এর তৈয়ারী সবু তন্তুর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহা উত্তপ্ত হইয়া উঠে। উষ্ণতা উচ্চ হইলে

তড়িৎ-বাহী ঐ তন্তু (filament) ভাষ্যর (incandescent) হইয়া উঠে এবং আলো বিকিরণ করিতে থাকে।

(iii) বৈদ্যুতিক ফিউজ্ (electrical fuse)-এর কার্যনীতিও তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের উপর নির্ভর করে। কোন কারণে যদি বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ বাড়িয়া যায় তবে বর্তনীতে প্রচণ্ড তাপের সৃষ্টি হইবে। ইহার ফলে বর্তনীতে আগুন লাগিয়া ঘরবাড়ি, কল-কারখানায় অগ্নিকাণ্ডের সম্ভাবনা থাকে। যদি দৈবাৎ 'মেইনস্' (mains)-এর দুই তড়িদুদ্বার অতি অল্প রোধের মধ্য দিয়া পরস্পরের সংস্পর্শে আসে, অর্থাৎ বর্তনী যদি শর্ট-সার্কিট (short circuit) হয়, তাহা হইলে প্রবাহমাত্রা খুব বাড়িয়া যাইতে পারে। এইরূপ অবস্থায় বাহাতে বর্তনীর কোন ক্ষতি না হইতে পারে সেইজন্য সতর্কতামূলক ব্যবস্থা হিসাবে 'বৈদ্যুতিক ফিউজ্' ব্যবহার করা হয়। ইহা টিন ও সীসার একটি সংকর ধাতু দ্বারা তৈয়ারী (সীসা 75% ও টিন 25%)। এই তারটি সামান্য তাপেই গলিয়া যায়। ফিউজ্ তার বর্তনীতে শ্রেণী-সমবাস্তে যুক্ত থাকে। কোন কারণে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা বিপজ্জনক সীমায় পৌঁছিলে ফিউজ্ তার গলিয়া যায়। ইহাতে বর্তনী ছিন্ন হয় এবং বর্তনীর প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। ফলে বর্তনী পুড়িয়া যাইবার আশঙ্কা এড়ানো যায়। একটি চীনা মাটির ধারকের মধ্যে এই ফিউজ্ তারটি রাখা হয়।



চিত্র 4.6

সহিতই ফিউজ্ তারটিকে যুক্ত করা হয়। অপর অংশে চীনা মাটির ধারকের গায়ে দুইটি ধাতব সকেট (socket) লাগানো থাকে। এই সকেট দুইটির সহিত যুক্ত দুইটি তার মেইন-এর সহিত লাগান থাকে। প্রথম অংশের ধাতব পাত দুইটিকে দ্বিতীয় অংশের ধাতব সকেটের মধ্যে চাপিয়া বসান হয়। মেইন-এর দুইটি তারের মধ্যে যে-কোন একটিতে ফিউজ্ বাস্কটি লাগানো থাকে। ফিউজ্-বাস্কে ফিউজ্ তার পরানো থাকিলে বর্তনীর নিরবচ্ছিন্নতা (continuity) বজায় থাকে। ফলে কোন বৈদ্যুতিক পাখা, মোটর ইত্যাদির মধ্য দিয়া বর্তনী সংহত হইলে তড়িৎ-প্রবাহ চলে। ফিউজ্ তার পুড়িয়া গেলে ঐ স্থানে বর্তনী ছিন্ন হয়, ফলে তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়।

বাড়ির বৈদ্যুতিক-সংযোগ বর্তনীতে পাখা, বাতি, পাম্প ইত্যাদিকে সরবরাহ-লাইন-এর সহিত এমনভাবে যুক্ত করা হয় বাহাতে ফিউজ্ পুড়িয়া গেলে বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়।

4.6 নং চিত্রে মেইন-এর সহিত ফিউজ্ তারের সংযোগ-ব্যবস্থাটি দেখান হইয়াছে। এই ব্যবস্থায় দুইটি অংশ থাকে। ইহার প্রকৃতপক্ষে দুইটি চীনা-মাটির ধারকের উপর স্থাপিত বৈদ্যুতিক ব্যবস্থা। একটি ধারকের উপর দুইটি ধাতব পাত যুক্ত থাকে। এই পাত দুইটির





সুইচ হইতে বাহির হইয়া সরবরাহ লাইনের তার দুইটি বন্টন-বাক্সে (distribution box) প্রবেশ করে ; এই বাক্সে দুইটি মোটা তার থাকে । ইহাদের মধ্যে একটি লাইভ-তারের সহিত এবং অপরটি নিউট্রাল তারের সহিত যুক্ত । বন্টন-বাক্স হইতে প্রয়োজন মত দুই, তিন বা ততোধিক শাখালাইন বাহির করিবার ব্যবস্থা থাকে । প্রত্যেকটি শাখার গোড়ায় একটি ফিউজ্ লাগান থাকে । 4.7 নং চিত্রে বন্টন-বাক্স হইতে নির্গত দুইটি শাখা দেখান হইয়াছে । প্রথম শাখায় (Line-1) কেবলমাত্র একটি বৈদ্যুতিক বাতির সংযোগ ব্যবস্থা দেখান হইয়াছে । দ্বিতীয় শাখায় (Line-2) একটি বাল্ব, একটি পাখা এবং একটি প্লাগের সংযোগ ব্যবস্থা দেখান হইয়াছে । পাখার আর্মেচারের সহিত শ্রেণী-সমবায়ের সাধারণত একটি পরিবর্তনীয় রোধ লাগান থাকে । ইহাকে রেগুলেটর (regulator) বলা হয় । ইহার মান পরিবর্তন করিয়া আর্মেচারের প্রবাহ-মাত্রা বদলান যায় ; ইহাতে পাখার বেগ বদলায় ।

লক্ষণীয় যে, বাড়ির পাখা, বাল্ব ইত্যাদিকে পরস্পরের সহিত সমান্তরাল সমবায়ের যুক্ত করা হয় যাহাতে উহাদের প্রতিটির দুই প্রান্তে সম্পূর্ণ সরবরাহ-ভোল্টেজ (supply voltage) ক্রিয়া করিতে পারে । প্রতিটি বাল্ব, পাখা বা প্লাগের সহিত একটি করিয়া সুইচ যুক্ত থাকে । এই সুইচগুলির সাহায্যে আনুষঙ্গিক বর্তনীতে প্রয়োজনমত তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান যায় বা বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ করা যায় ।

#### 4.9 কয়েকটি প্রাসঙ্গিক প্রশ্ন

(1) যে-বৈদ্যুতিক হিটার সমপ্রবাহ সরবরাহ লাইনে ব্যবহৃত হয় উহাকে পরিবর্তী প্রবাহ লাইনেও ব্যবহার করা যায় । ইহার কারণ কী ?

বৈদ্যুতিক হিটার তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় প্রভাবের ভিত্তিতে ক্রিয়া করে ।  $R$  রোধ-বিশিষ্ট কোন হিটারের তারের মধ্য দিয়া কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে  $I$  তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে সেই মুহূর্তে ঐ তারে উদ্ভূত তাপের হার  $I^2R$ -এর সমান । লক্ষণীয় যে, উদ্ভূত তাপের হার তড়িৎ-প্রবাহের বর্গের সমানুপাতিক । কাজেই, ইহা তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভরশীল নয় । অর্থাৎ, তড়িৎ-প্রবাহ সম্মুখীই হোক আর পরিবর্তীই হোক, উভয় ক্ষেত্রেই হিটারের তার উত্তপ্ত হইবে ।

(2) একটি বৈদ্যুতিক হিটারে নিরবচ্ছিন্নভাবে তাপ উৎপন্ন হইতে থাকে, কিন্তু ইহার উষ্ণতা কিছুক্ষণ পরই স্থির হইয়া যায় । ইহার কারণ কী ?

বৈদ্যুতিক হিটারের  $R$  ওহ্ম রোধবিশিষ্ট কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া  $I$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিলে উহাতে প্রতি সেকেন্ডে  $0.24I^2R$  ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হইতে থাকে । এই তাপের প্রভাবে হিটারের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতে থাকে । তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপের প্রভাবে হিটারের উষ্ণতা বাড়িলে পরিপার্শ্বের উষ্ণতা অপেক্ষা ইহার উষ্ণতা বেশি হয় । ইহার ফলে পরিবহণ, পরিচলন এবং বিকিরণ—এই তিনটি পদ্ধতিতে হিটার হইতে কিছু পরিমাণ তাপ বাহির হইয়া যাইতে থাকে । হিটারের উষ্ণতা যত বৃদ্ধি পায়, পরিচলন, পরিবহণ ও বিকিরণ পদ্ধতিতে তত বেশি তাপ হিটার হইতে বাহির হইতে থাকে । উৎপন্ন তাপের যে-অংশ হিটার হইতে বাহির হইয়া যায় ( অর্থাৎ, অপচিত হয় ) সেই অংশ হিটারের উষ্ণতা-বৃদ্ধির কাজে লাগে না । হিটারের উষ্ণতা যত বাড়ে অপচিত তাপের পরিমাণও তত বাড়ে বলিয়া হিটারের উষ্ণতা-বৃদ্ধির হারও কমিতে

থাকে। হিটারের যে-উষ্ণতার পরিবহণ, পরিচলন এবং বিকিরণজনিত তাপের অপচয়ের হার তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপের হারের সমান হয় সেই সময় হিটারের উষ্ণতা আরও বৃদ্ধি করিবার জন্য কোন তাপ হিটারে অবশিষ্ট থাকে না। কাজেই এই উষ্ণতার পর হিটারের উষ্ণতা আর বাড়ে না।

(3) একটি 25 ওয়াট বাতি এবং একটি 100 ওয়াট বাতিকে শ্রেণী-সমবাহে যুক্ত করিয়া এই শ্রেণী-সমবাহকে বৈদ্যুতিক মেইন-এর সহিত যুক্ত করা হইল। কোন বাতিটি অপেক্ষাকৃত উজ্জ্বলভাবে জ্বলিবে?

R রোধ-সম্পন্ন কোন বাতিকে মেইন-এর সহিত যুক্ত করিলে উহাতে যে-হারে শক্তি ব্যয়িত হয় উহার মান

$$W = I^2 R = \left( \frac{V}{R} \right)^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}, \text{ এখানে } V = \text{প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য}$$

অর্থাৎ, যে-বাতির রোধ যত কম উহাতে তত বেশি হারে শক্তি ব্যয়িত হইবে। ভাষান্তরে বলা যায়, যে-বাতির ক্ষমতা কম উহার রোধ তত বেশি এবং যে-বাতির ক্ষমতা বেশি উহার রোধ তত কম। সুতরাং, 25 watt ক্ষমতাসম্পন্ন বাতিটির রোধ অপেক্ষা 100 watt ক্ষমতা-সম্পন্ন বাতিটির রোধ কম।

এখন একটি 25 watt ক্ষমতাসম্পন্ন বাতির সহিত একটি 100 watt ক্ষমতাসম্পন্ন বাতিকে শ্রেণী-সমবাহে যুক্ত করিয়া উহাদিগকে বৈদ্যুতিক মেইন-এর সহিত যুক্ত করিলে উভয় রোধের মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে। কাজেই উক্ত বাতি দুইটিতে উৎপন্ন তাপের হার ( $I^2 R$ ) উহাদের রোধের সমানুপাতিক হইবে। 25 watt ক্ষমতা-সম্পন্ন বাতিটির রোধ অপেক্ষাকৃত বেশি বলিয়া এই বাতিটি অপরটি অপেক্ষা বেশি উজ্জ্বলভাবে জ্বলিবে।

(4) বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেন্ট এবং লাইন তারের মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ যায়, কিন্তু কেবলমাত্র বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেন্টই শ্বেত-তপ্ত ও ভাস্কর হইয়া উঠে। ইহার কারণ কী?

জুলের সূত্র হইতে আমরা জানি যে, তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্দিষ্ট হইলে উৎপন্ন তাপের হার পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক। লাইন তার অপেক্ষা বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেন্টের রোধ অনেক বেশি। কাজেই ইহাদের মধ্য দিয়া একই পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ গেলেও লাইন তার অপেক্ষা বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেন্টে অনেক বেশি তাপ উৎপন্ন হয়। এইজন্য লাইন তার অপেক্ষা ফিলামেন্টটি অনেক বেশি উত্তপ্ত এবং ভাস্কর হইয়া উঠে।

(5) দুইটি 120V-40W বৈদ্যুতিক বাতিকে শ্রেণী-সমবাহে একটি 120V বর্তনীতে যুক্ত করা হইল। ইহাদের মধ্যে একটি বাতির ফিলামেন্ট খাতুনির্মিত এবং অপরটির ফিলামেন্ট কার্বন-নির্মিত। কোন ফিলামেন্টটি অধিকতর উজ্জ্বলভাবে জ্বলিবে?

কার্বন ফিলামেন্টের তৈয়ারী বাতিটি অপেক্ষাকৃত উজ্জ্বলভাবে জ্বলিবে। ইহার কারণ নিম্নে ব্যাখ্যা করা হইল। খাতব তারের এবং কার্বন ফিলামেন্টের রোধের উপর উষ্ণতার প্রভাব ভিন্ন। উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে খাতব ফিলামেন্টের রোধ বাড়ে, কিন্তু কার্বন ফিলামেন্টের রোধ কমে। উভয় বাতির দুই প্রান্তে 120 V বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে ভাস্কর অবস্থায় ইহাদের ফিলামেন্টের রোধ সমান হইবে, কেননা, উভয়ের ক্ষমতা সমান।

যখন বাতি দুইটিকে শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করিয়া ঐ শ্রেণী-সমবায়ের দুই প্রান্তে 120 V প্রয়োগ করা হয় তখন উভয় বাতির ঔজ্জ্বল্যই উহাদের স্বাভাবিক ঔজ্জ্বল্য অপেক্ষা কম হয়। এই সময় উভয় ফিলামেন্টের উষ্ণতাও স্বাভাবিক উষ্ণতা অপেক্ষা কম হয়। 120 V বিভব-বৈষম্যের প্রভাবে ভাষার অবস্থায় উভয় ফিলামেন্টের রোধ সমান বলিয়া শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত অবস্থায় ধাতব ফিলামেন্টে রোধ অপেক্ষা কার্বন ফিলামেন্টের রোধের মান বেশি হয়। শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত অবস্থায় উভয় বাতির মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ যায় বলিয়া এই সময় কার্বন ফিলামেন্টে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ ধাতব ফিলামেন্টে উদ্ভূত তাপশক্তি অপেক্ষা বেশি হইবে। কাজেই, কার্বন ফিলামেন্টটি অধিকতর উজ্জ্বল-ভাবে জ্বলিবে।

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

**উদাহরণ 4.1** একটি বাড়িতে 60 watts ক্ষমতাসম্পন্ন 6টি বৈদ্যুতিক বাতির প্রতিটি দৈনিক 5 ঘণ্টা করিয়া জ্বলে। এক B. O. T. এককের জন্য 50 পয়সা মূল্য ধার্য হইলে মাসিক খরচ কত হইবে? (1 মাস = 30 দিন) [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

**সমাধান :** 6টি বাতির মোট ক্ষমতা =  $60 \times 6 = 360$  watts

প্রতিদিন বাতিগুলি 5 ঘণ্টা করিয়া জ্বলে। কাজেই দৈনিক ব্যয়িত বৈদ্যুতিক শক্তি  
 $= 360 \times 5$  watt-hour

সুতরাং, এক মাসে ব্যয়িত বৈদ্যুতিক শক্তি =  $360 \times 5 \times 30$  watt-hour

$= 54000$  kilowatt-hour or B. O. T. units = 54 B. O. T. units

B. O. T. এককের মূল্য 50 পয়সা বলিয়া মাসিক খরচ =  $54 \times 50$  পয়সা = 27 টাকা

**উদাহরণ 4.2** একটি বাড়িতে 10টি 40 watt-ক্ষমতাসম্পন্ন বাতি এবং 3টি 100 watt-ক্ষমতাসম্পন্ন বৈদ্যুতিক পাখা আছে। ঐগুলির প্রত্যেকটি দৈনিক 5 ঘণ্টা করিয়া জ্বলে। প্রতি ইউনিট বিদ্যুৎ-শক্তির মূল্য 20 পয়সা হইলে 30 দিন ঐ বাতি এবং পাখা চালাইতে কত খরচ হইবে? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978]

**সমাধান :** 10টি 40 watt-বাতির মোট ক্ষমতা =  $40 \times 10 = 400$  watts

3টি 100 watt ক্ষমতাসম্পন্ন বৈদ্যুতিক পাখার মোট ক্ষমতা =  $100 \times 3 = 300$  watts

কাজেই, প্রতিদিন মোট যে-বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যয়িত হল উহার মান

= মোট ক্ষমতা  $\times$  মোট সময় =  $(400 + 300) \times 5 = 3500$  watt-hour

$= 3.5$  kilowatt-hour

কাজেই 30 দিনে মোট ব্যয়িত বৈদ্যুতিক শক্তি =  $3.5 \times 30 = 105$  kilowatt-hour

$\therefore$  30 দিনে মোট ব্যয় =  $105 \times 20$  পয়সা = 21 টাকা

**উদাহরণ 4.3** একটি বৈদ্যুতিক রেফ্রিজারেটর চালাইবার জন্য একটি 120 ওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন মোটর ব্যবহৃত হয়। মোটরটি দিনের এক-তৃতীয়াংশ সময় ধরিয়া চলিলে 30 দিনের মাসে রেফ্রিজারেটটি চালাইতে কত খরচ হইবে? ধরিয় লও যে, এক কিলোওয়াট-ঘণ্টা শক্তির জন্য খরচ 8 পয়সা। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1967]

**সমাধান :** প্রতিদিন মোটরটি  $\frac{1}{3} \times 24$  ঘণ্টা বা, 8 ঘণ্টা ধরিয় চলিলে। সুতরাং, 30 দিনের মাসে ইহা মোট যে-সময় ধরিয় চলিল তাহার মান,  $t = 8 \times 30$  ঘণ্টা = 240 ঘণ্টা

সুতরাং, সারা মাস ধরিয়া রেফ্রিজারেটরটি চালাইতে যে-শক্তি ব্যয়িত হইবে তাহার পরিমাণ

$$W = \text{মোটরের ক্ষমতা} \times \text{মোট সময়} = 120 \times 240 \text{ ওয়াট-ঘণ্টা}$$

$$= \frac{120 \times 240}{1000} \text{ কিলোওয়াট-ঘণ্টা} = 28.8 \text{ কিলোওয়াট-ঘণ্টা}$$

প্রতি কিলোওয়াট-ঘণ্টার জন্য খরচ ৪ পয়সা বলিয়া মোট খরচ

$$= 28.8 \times ৪ \text{ পয়সা} = ২.৩০ \text{ টাকা (প্রায়)}$$

**উদাহরণ 4.4** 50 Ω রোধাবিশিষ্ট একটি তারের কুণ্ডলীর মধ্যে 5 মিনিট ধরিয়া 2 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। (i) কুণ্ডলীর মধ্যে কী পরিমাণ আধান প্রবাহিত হইয়াছে? (ii) তড়িচ্চালক বলের উৎস কী পরিমাণ কার্য করিল? (iii) কত তাপ উৎপন্ন হইল? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1985]

**সমাধান :** (i) কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া প্রবাহিত আধান,  $Q = \text{তড়িৎ-প্রবাহ (I)} \times \text{সময় (t)}$

এখানে,  $I = 2$  অ্যাম্পিয়ার এবং  $t = 5$  মিনিট  $= 5 \times 60 \text{ sec} = 300 \text{ sec}$

$$\therefore \text{প্রবাহিত তড়িদাধান, } Q = (2A) \times (300 \text{ sec}) = 600 \text{ C}$$

(ii) তারকুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য,  $V = \text{তড়িৎ-প্রবাহ} \times \text{রোধ}$

$$= 2A \times 50 \Omega = 100 \text{ ভোল্ট}$$

$\therefore$  তড়িচ্চালক বলের উৎস-কর্তৃক কৃত কার্যের পরিমাণ

$$W = \text{বিভব-বৈষম্য} \times \text{তড়িদাধান}$$

$$= 100 \text{ V} \times 600 \text{ C} = 60000 \text{ জুল}$$

(iii) উৎপন্ন তাপের পরিমাণ,  $H = \frac{W}{J}$

এখানে  $W = 60000$  জুল এবং  $J = 4.2$  জুল/ক্যালরি

$$\therefore \text{উৎপন্ন তাপ} = \frac{60000}{4.2} \text{ ক্যালরি} = 1429 \text{ ক্যালরি (প্রায়)}$$

**উদাহরণ 4.5** B আভ্যন্তরীণ রোধাবিশিষ্ট একটি ব্যাটারীর দুই তড়িদ্বারের সহিত পর পর (successively)  $R_1$  এবং  $R_2$  রোধাবিশিষ্ট তার যুক্ত করা হইল। যদি B-এর মান  $R_1$  এবং  $R_2$ -এর গুণোত্তরীয় মধ্যক (geometrical mean)-এর সমান হয় তাহা হইলে দেখাও যে, দুইটি তারে একই সময়ে একই পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হইবে।

**সমাধান :** মনে করি, ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল  $= E$

প্রথম ক্ষেত্রে ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে তড়িৎ-প্রবাহের মান যথাক্রমে

$$I_1 = \frac{E}{B + R_1} \text{ এবং } I_2 = \frac{E}{B + R_2} \quad \dots \quad (i)$$

$\therefore$  প্রথম ক্ষেত্রে  $t$  সময়ে  $R_1$  রোধাবিশিষ্ট তারে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ

$$H_1 = \frac{1}{J} \cdot I_1^2 R_1 t, \quad J = \text{তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক}$$

$$= \frac{1}{J} \left( \frac{E}{B + R_1} \right)^2 R_1 t = \frac{R_1 t}{J} \cdot \frac{E^2}{B^2 + 2BR_1 + R_1^2}$$

কিন্তু প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $B = \sqrt{R_1 R_2}$

$$\therefore H_1 = \frac{t}{J} \cdot \frac{E^2}{R_1 + 2\sqrt{R_1 R_2} + R_2} \quad \dots \quad (ii)$$



অনুবৃত্তভাবে, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে  $t$  সেকেন্ডে  $R_2$ -রোধবিশিষ্ট তারে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ

$$H_2 = \frac{t}{J} \cdot I_2^2 R_2 = \frac{1}{J} \left( \frac{E}{R_1 + R_2} \right)^2 \cdot R_2 t$$

$$= \frac{t}{J} \cdot \frac{E^2}{R_1 + \sqrt{R_1 R_2} + R_2} \quad \dots (iii)$$

সমীকরণ (ii) ও (iii) হইতে দেখা যাইতেছে যে, উভয় ক্ষেত্রে উৎপন্ন তাপ সমান।

**উদাহরণ 4.6** (a)  $r_1$  এবং  $r_2$  রোধের (i) শ্রেণী-সমবায় এবং (ii) সমান্তরাল-সমবায়ের মধ্য দিয়া নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে দুই ক্ষেত্রে যে-হারে শক্তি ব্যয়িত হয় উহাদের তুলনা কর। (b) তড়িৎ-প্রবাহ স্থির না রাখিয়া যদি রোধ-সমবায়ের দুইপ্রান্তে একটি নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে উপরি-উক্ত দুই ক্ষেত্রে যে-হারে শক্তি ব্যয়িত হইবে উহাদের তুলনা কর।

**সমাধান :** (a) মনে করি, উভয় ক্ষেত্রেই তড়িৎ-প্রবাহের মান  $= I$

(i) যখন  $r_1$  এবং  $r_2$  শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত তখন যে-হারে শক্তি ব্যয়িত হইবে তাহার পরিমাণ,  $W_1 = I^2 \times$  শ্রেণী-সমবায়ের তুল্য-রোধ  $= I^2 \times (r_1 + r_2)$  ... (i)

(ii) যখন  $r_1$  এবং  $r_2$  সমান্তরাল সমবায়ের যুক্ত তখন যে-হারে শক্তি ব্যয়িত হইবে তাহার পরিমাণ,  $W_2 = I^2 \times$  সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য রোধ  $= I^2 \times \frac{r_1 r_2}{(r_1 + r_2)}$  ... (ii)

সমীকরণ (i) ও (ii) হইতে লেখা যায়,  $\frac{W_1}{W_2} = (r_1 + r_2)^2 : r_1 r_2$  ... (iii)

ইহাই দুই ক্ষেত্রে ব্যয়িত শক্তির হারের অনুপাত।

(b) কোন নির্দিষ্ট রোধ  $R$ -এর দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য স্থির রাখিলে শক্তি ব্যয়ের হার

$$= V \times I = V \times \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R} = \frac{(\text{বিভব-বৈষম্য})^2}{\text{রোধ}}$$

(i)  $r_1$  এবং  $r_2$  রোধ দুইটিকে শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত করিয়া দুইপ্রান্তে  $V$  বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে যে-হারে শক্তি ব্যয়িত হইবে তাহার পরিমাণ

$$W = \frac{V^2}{\text{শ্রেণী-সমবায়ের তুল্য-রোধ}} = \frac{V^2}{(r_1 + r_2)} \quad \dots (iv)$$

(ii)  $r_1$  এবং  $r_2$  রোধ দুইটিকে সমান্তরাল-সমবায়ের যুক্ত করিয়া দুই প্রান্তে  $V$  বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে যে-হারে শক্তি ব্যয়িত হইবে তাহার পরিমাণ

$$W' = \frac{V^2}{\text{সমান্তরাল-সমবায়ের তুল্য-রোধ}} = \frac{V^2}{\left( \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \right)} \quad \dots (v)$$

সমীকরণ (iv) এবং (v) হইতে লেখা যায়,  $\frac{W}{W'} = r_1 r_2 : (r_1 + r_2)^2$  ... (vi)

ইহাই দুই ক্ষেত্রে ব্যয়িত শক্তির অনুপাত।

**উদাহরণ 4.7** একটি জুল ক্যালরিমিটারে 1.5 কিলোগ্রাম তেল (আপেক্ষিক তাপ 0.6) লওয়া হইল এবং 3.0 রোধবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীকে উহার মধ্যে ডুবাইয়া কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 3 অ্যাম্পায়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ক্যালরিমিটারের তেলের উষ্ণতা  $10^\circ\text{C}$  বৃদ্ধি করিতে কত সময় ধরিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইতে হইবে? ক্যালরিমিটারের জলসম ও

বিকিরণজনিত তাপক্ষয় নগণ্য বলিয়া ধরা বাইতে পারে। দেওয়া আছে যে, তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক = 4.2 জুল/ক্যালরি। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

সমাধান : মনে করি, নির্ণয়ের সময় =  $t$  sec

R.M. রোধবিশিষ্ট কোন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া I অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে  $t$  sec সময়ে উৎপন্ন তাপ

$$H = \frac{I^2 R t}{4.2} \text{ cal} \quad \dots (i)$$

এই তাপ 1.5 kg জলের 10°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করে বলিয়া লেখা যায়,

$$H = m \cdot s \cdot \theta = 1.5 \times 10^3 \times 0.6 \times 10 = 9 \times 10^4 \text{ cal} \quad \dots (ii)$$

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,  $\frac{I^2 R t}{4.2} = 9 \times 10^4$

$$\text{বা, } t = \frac{4.2 \times 9 \times 10^4}{I^2 R}$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $I = 3$  A এবং  $R = 3 \Omega$

$$\therefore t = \frac{4.2 \times 9 \times 10^4}{3^2 \times 3} \text{ sec} = 1400 \text{ sec} = 23 \text{ মিনিট } 20 \text{ সেকেন্ড}$$

উদাহরণ 4.8 একটি বৈদ্যুতিক কেটলির তাপক তারের রোধ 53 ওহ্ম। 15°C উষ্ণতার 1.5 কিলোগ্রাম জলকে 230 ভোল্ট সরবরাহ দ্বারা স্ফুটনাঙ্কে আনিতে কত সময় লাগবে? ধরিয়া লও যে, উৎপন্ন তাপের সবটুকুই জল-কর্তৃক শোষিত হইতেছে। জলের তুল্যাঙ্কের মান = 4.18 জুল/ক্যালরি।

সমাধান : মনে করি, নির্ণয়ের সময় =  $t$  সেকেন্ড

তাপক তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহ  $I = \frac{230}{53}$  অ্যাম্পিয়ার

$t$  সেকেন্ডে উৎপন্ন মোট তাপ,  $H = \frac{1}{J} \times I^2 R t$  ক্যালরি

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $H = \frac{1}{J} I^2 R t = ms(\theta_2 - \theta_1)$

$m =$  জলের ভর = 1500 গ্রাম,  $s =$  জলের আপেক্ষিক তাপ = 1 cal gm<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>

$\theta_1 =$  জলের প্রাথমিক উষ্ণতা = 15°C,  $\theta_2 =$  জলের অন্তিম উষ্ণতা = 100°C

$$\therefore t = \frac{ms(\theta_2 - \theta_1) \times J}{I^2 R} = \frac{1500 \times 1 \times (100 - 15) \times 4.18}{\left(\frac{230}{53}\right)^2 \times 53} \text{ সেকেন্ড}$$

$$= 8 \text{ মিনিট } 55 \text{ সেকেন্ড (প্রায়)}$$

উদাহরণ 4.9 100 ওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন দুইটি বৈদ্যুতিক পাখা এবং 40 ওয়াট ক্ষমতা-সম্পন্ন দুইটি বৈদ্যুতিক বাতিকে দৈনিক 6 ঘণ্টা করিয়া ব্যবহার করিলে 30 দিনের মাসে মোট খরচ কত হইবে? ধরিয়া লও যে, এক বি. ও. টি. এককের জন্য 20 পয়সা খরচ হয়।

সমাধান : দুইটি বৈদ্যুতিক বাতি ও দুইটি বৈদ্যুতিক পাখার মোট ক্ষমতা

$$= (2 \times 40 + 2 \times 100) \text{ ওয়াট} = 280 \text{ ওয়াট}$$

প্রতিদিন 6 ঘণ্টা করিয়া ব্যবহৃত হইলে 30 দিনে মোট যে-শক্তি ব্যয়িত হইবে তাহার পরিমাণ

$$= 280 \times 6 \times 30 \text{ ওয়াট-আওয়ার}$$

$$= \frac{280 \times 6 \times 30}{1000} \text{ কিলোওয়াট-আওয়ার} = 50.4 \text{ কিলোওয়াট-আওয়ার}$$

সূত্রানু, 30 দিনে মোট খরচ =  $2.5 \times 20$  পয়সা = 10.08 টাকা

**উদাহরণ 4.10** একটি বরফ ক্যালরিমিটারে একটি তার প্রবেশ করান আছে। তারের মধ্য দিয়া 0.5 A তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে প্রতি মিনিটে 1 gm বরফ গলে। তারটির রোধ নির্ণয় কর। (বরফের গলনের লীন তাপ = 80 cal/gm এবং  $J = 4.2$  joules/cal)

**সমাধান :** ধরি, নির্ণেয় রোধ =  $R\Omega$

$$1 \text{ মিনিটে উৎপন্ন তাপ, } H = \frac{I^2 R t}{J} = \frac{(0.5)^2 \times R \times 60}{4.2} \text{ cal}$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $H = 1 \times 80$  cal, কেননা প্রতি মিনিটে 1 গ্রাম বরফ গলিতেছে।

$$\therefore \frac{(0.5)^2 \times R \times 60}{4.2} = 80 \text{ বা, } R = \frac{80 \times 4.2}{(0.5)^2 \times 60} = 22.4\Omega$$

**উদাহরণ 4.11** 40 ওহ্ম রোধবিশিষ্ট একটি তারের মধ্য দিয়া 5 মিনিট ধরিয়া 10 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে (i) তারের মধ্য দিয়া কী পরিমাণ তড়িদ্রাবান প্রবাহিত হইল, (ii) জুল এককে কী পরিমাণ শক্তি ব্যয়িত হইল এবং (iii) তারটিতে কী পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হইল তাহা নির্ণয় কর। ( $J = 4.2$  joules/cal)

**সমাধান :** (i) তারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িদ্রাবান

$$= \text{তড়িৎ-প্রবাহ} \times \text{সময়} = 10 \times 5 \times 60 \text{ coulombs} = 3000 \text{ coulombs}$$

$$(ii) \text{ ব্যয়িত শক্তির পরিমাণ} = I^2 R t = 10^2 \times 40 \times (5 \times 60) = 12 \times 10^5 \text{ joules}$$

$$(iii) \text{ উৎপন্ন তাপের পরিমাণ, } H = \frac{W}{J} = \frac{12 \times 10^5}{4.2} = 2.86 \times 10^6 \text{ cal}$$

**উদাহরণ 4.12** 3 ওহ্ম রোধবিশিষ্ট একটি তারকুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 2 মিনিট ধরিয়া 2 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। কুণ্ডলীটি 28 গ্রাম জলবিশিষ্ট ক্যালরিমিটারে রক্ষিত 40 গ্রাম জলের মধ্যে নিমজ্জিত রহিয়াছে। জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি  $5^\circ\text{C}$  হইলে তাপের বাস্তবিক তুল্যাক্ষের মান নির্ণয় কর।

$$\text{সমাধান : আমরা জানি, } \frac{I^2 R t}{J} = (W + m)\theta$$

$$W = \text{ক্যালরিমিটারের জলসম} = 28 \text{ gm, } m = \text{ক্যালরিমিটারে রক্ষিত জলের ভর} \\ = 40 \text{ gm, } \theta = 5^\circ\text{C}$$

$$\therefore J = \frac{I^2 R t}{(W + m)\theta} = \frac{(2)^2 \times 3 \times 2 \times 60}{(28 + 40) \times 5} = 4.23 \text{ J/cal}$$

**উদাহরণ 4.13** 10 ওহ্ম এবং 15 ওহ্ম রোধবিশিষ্ট দুইটি তারকুণ্ডলী সমান্তরাল-সমবায়ে যুক্ত আছে। উহাদের সহিত কত মানের অপর একটি রোধ যুক্ত করিলে উহারা 220 ভোল্ট সরবরাহ লাইন হইতে 4.48 কিলোওয়াট হারে শক্তি গ্রহণ করিবে? তৃতীয় রোধটি কীভাবে যুক্ত করিতে হইবে তাহা উল্লেখ কর।

**সমাধান :** 10 ওহ্ম ও 15 ওহ্মকে সমান্তরাল-সমবায়ে যুক্ত করিলে উহাদের তুল্য রোধ

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{15}} \Omega = 6\Omega \quad \dots (i)$$

কোন নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্যের উৎসের সহিত যুক্ত করিলে শক্তি ব্যয়ের হার বা ক্ষমতা

$$= \frac{(\text{বিভব-বৈষম্য})^2}{\text{রোধ}}$$

মনে করি, তৃতীয় রোধটি যুক্ত করিবার পর বর্তনীর মোট রোধ =  $R$

$$\therefore \text{প্রশ্নের শর্তানুসারে, } 4.84 \text{ কিলোওহ্ম} = \frac{(\text{বিভব-বৈষম্য})^2}{R}$$

$$\text{বা, } 4840 = \frac{(220)^2}{R} \quad \text{বা, } R = \frac{(220)^2}{4840} = 10\Omega \quad \dots \text{ (ii)}$$

বর্তনীর মোট রোধ  $10\Omega$  হইতে হইলে তৃতীয় রোধটিকে উক্ত সমান্তরাল-সমবায়ের সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিতে হইবে। তৃতীয় রোধটির মান  $r$  ওহ্ম হইলে, (i) ও (ii) হইতে লেখা যায়,  $10 = 6 + r \therefore r = 4$  ওহ্ম।

**উদাহরণ 4.14** একটি বাড়িতে তিনটি 60 W ক্ষমতাসম্পন্ন এবং দুইটি 100 W ক্ষমতাসম্পন্ন বাতি এবং তিনটি 40 W ক্ষমতাসম্পন্ন পাখা আছে। যদি উহাদিগকে একই সঙ্গে 200 V সরবরাহ লাইনের সহিত যুক্ত করা হয় তাহা হইলে মেইন্ হইতে আগত তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় কর। যদি প্রতিটি বাতি দৈনিক 5 ঘণ্টা জলে এবং প্রতিটি পাখা দৈনিক 15 ঘণ্টা চলে তাহা হইলে মাসিক খরচ কত হইবে? 1 মাস = 30 দিন, 1 বি. ও টি. এককের মূল্য = 50 পয়সা। [জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1982]

**সমাধান :** বাতিগুলির মোট ক্ষমতা =  $(3 \times 60 + 2 \times 100) \text{ W} = 380 \text{ W}$

পাখাগুলির মোট ক্ষমতা =  $3 \times 40 \text{ W} = 120 \text{ W}$

কাজেই, পাখা এবং বাতি একসঙ্গে চলিলে এবং জ্বলিলে ব্যয়িত ক্ষমতা

$$= (380 + 120) \text{ W} = 500 \text{ W}$$

আমরা জানি যে, তড়িৎ-প্রবাহ  $\times$  বিভব-বৈষম্য = ক্ষমতা

$$\therefore \text{তড়িৎ-প্রবাহ} = \frac{\text{ক্ষমতা}}{\text{বিভব-বৈষম্য}}$$

এখানে, ক্ষমতা = 500 W এবং বিভব-বৈষম্য = 200 V বলিয়া লেখা যায়,

$$\text{তড়িৎ-প্রবাহ, } I = \frac{500}{200} \text{ A} = 2.5 \text{ A}$$

বাতিগুলি দৈনিক 5 ঘণ্টা জ্বলে এবং পাখাগুলি দৈনিক 15 ঘণ্টা চলে বলিয়া দৈনিক যে-পরিমাণ বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যয়িত হয় তাহার পরিমাণ

$$= (380 \times 5 + 120 \times 15) \text{ ওয়াট-ঘণ্টা}$$

$$= (1900 + 1800) \text{ ওয়াট-ঘণ্টা} = 3700 \text{ ওয়াট-ঘণ্টা}$$

কাজেই, এক মাসে ব্যয়িত বৈদ্যুতিক শক্তি =  $3700 \times 30$  ওয়াট-ঘণ্টা

$$= 37 \times 3 \text{ কিলোওয়াট-ঘণ্টা} = 111 \text{ কিলোওয়াট-ঘণ্টা বা বি. ও টি. একক।}$$

1 বি. ও টি. এককের মূল্য 50 পয়সা বলিয়া এক মাসে খরচ

$$= 111 \times 50 \text{ পয়সা} = 50 \text{ টাকা } 50 \text{ পয়সা}$$

**উদাহরণ 4.15** 5 মিনিটে এক লিটার জলকে  $4^\circ\text{C}$  হইতে  $100^\circ\text{C}$  উত্তম তুলিবার উদ্দেশ্যে নিমিত হিটার তারের রোধ নির্ণয় কর। ধরিয়া লও যে, সরবরাহিত ভোল্টেজ 200 ভোল্ট। তাপক্ষয় এবং কেট্‌লির জলসম উপেক্ষা কর। ( $J = 4.2$  জুল/ক্যালরি)

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1973]

**সমাধান :** এক লিটার জলের ভর = 1000 gm



কাজেই, 1 লিটার জলকে  $4^{\circ}\text{C}$  হইতে  $100^{\circ}\text{C}$  উষ্ণতার তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপ,

$$H = 1000 \times (100 - 4) \text{ ক্যালরি}$$

$$= 96 \times 1000 \text{ ক্যালরি}$$

হিটার তারের রোধ  $R \cdot \Omega$  হইলে এবং উহাতে  $V$  ভোল্ট বিভব-বৈষম্য প্রযুক্ত হইলে প্রতি সেকেন্ডে ইহাতে উৎপন্ন তাপ, ... (i)

$$h = \frac{V^2}{RJ} \quad (J = \text{তাপের ব্যাস্তিক তুল্যাঙ্ক})$$

প্রমানুসারে,  $V = 200 \text{ V}$  এবং  $J = 4.2 \text{ জুল/ক্যালরি}$

$$\therefore h = \frac{(200)^2}{R \times 4.2} \text{ ক্যালরি/সেকেন্ড}$$

... (ii)

কাজেই, 5 মিনিটে হিটার তারে উৎপন্ন তাপ

$$H_1 = \frac{(200)^2}{R \times 4.2} \times (5 \times 60) \text{ ক্যালরি}$$

... (iii)

উৎপন্ন এই তাপের সাহায্যে 1 লিটার জলকে  $4^{\circ}\text{C}$  হইতে  $100^{\circ}\text{C}$ -এ তুলিতে হইলে  $H_1 = H$  হইবে। কাজেই, সমীকরণ (i) এবং (iii) হইতে পাই,

$$\frac{(200)^2}{R \times 4.2} \times (5 \times 60) = 96 \times 1000$$

$$\text{বা, } R = \frac{200 \times 200 \times 5 \times 60}{96 \times 1000 \times 4.2} \text{ ohms} = 29.8 \text{ ohm (প্রায়)}$$

#### 4.10 তাপ-তড়িৎ (Thermo electricity)

তড়িৎ-কোষের আবিষ্কার ভোল্টা প্রথম লক্ষ্য করেন যে, দুইটি বিভিন্ন ধাতুকে পরস্পরের সংস্পর্শে রাখিলে উহাদের মধ্যে একটি বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হয়। এই বিভব-বৈষম্য ধাতুদ্বয়ের প্রকৃতি ও উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল। এই বৈষম্যকে সংযোগজনিত বিভব-বৈষম্য (contact potential difference) বলা হয়। লোহা ও তামা পরস্পরের সংস্পর্শে থাকিলে এবং উহাদের সংযোগস্থলের উষ্ণতা  $20^{\circ}\text{C}$  হইলে উহাদের মধ্যে সংযোগজনিত বিভব-বৈষম্যের মান হইবে প্রায়  $0.15$  ভোল্ট।

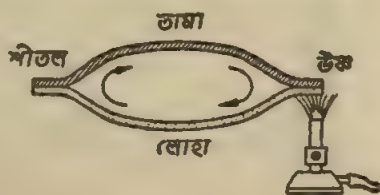
এইরূপ সংযোগজনিত বিভব-বৈষম্য লইয়া পরীক্ষাভিত্তিক গবেষণাকালে জার্মান বিজ্ঞানী ইয়োহান জিবেক (Johann Seebeck) 1822 খ্রিস্টাব্দে লক্ষ্য করেন যে, দুইটি বিভিন্ন ধাতুর তারের দুই প্রান্ত পরস্পর যুক্ত করিয়া একটি বদ্ধ বর্তনী সৃষ্টি করিয়া ঐ দুই তারের সংযোগস্থল বা জোড়মুখ (junctions) দুইটিকে বিভিন্ন উষ্ণতায় রাখিলে বর্তনীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই প্রবাহকে তাপ-তড়িৎ-প্রবাহ (thermo-electric current) বলা হয়। দুইটি বিভিন্ন ধাতব তারের সংযোগস্থল দুইটির উষ্ণতার ব্যবধানের ফলে তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টির এই প্রক্রিয়াটিকে আবিষ্কারের নামানুসারে 'জিবেক প্রক্রিয়া' (Seebeck effect) বলা হয়। দুইটি বিভিন্ন ধাতুর তার দ্বারা তৈয়ারী উপরি-উক্ত বদ্ধ বর্তনীটিকে তাপ-যুগ্ম (thermo couple) বলা হয়।

লোহা ও তামার তারের সাহায্যে এইরূপ একটি তাপ-যুগ্ম তৈয়ারী করিয়া উহার দুই জোড়মুখে উষ্ণতার ব্যবধান সৃষ্টি করিলে দেখা যাইবে যে, উষ্ণতর জোড়মুখে প্রবাহের

অভিমুখ তামা হইতে লোহার দিকে এবং শীতলতর জোড়মুখে প্রবাহের অভিমুখ লোহা হইতে তামার দিকে (চিত্র 4.8)।

বর্তনীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হইবার অর্থ এই যে, তাপ-যুগ্মের দুই জোড়মুখ বা সংযোগস্থলের উষ্ণতার ব্যবধানের ফলে বর্তনীতে একটি তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হইয়াছে। ইহাকে তাপ-তড়িচ্চালক বল (thermo-electromotive force) বলা হয়।

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে যে, উপরি-উক্ত বন্ধ বর্তনীতে একটি তৃতীয় ধাতু শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করিলে এবং বর্তনীতে তৃতীয় ধাতুটির সংযোগস্থল দুইটির উষ্ণতা অভিন্ন হইলে বর্তনীর মধ্যে

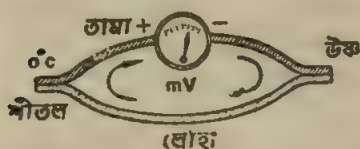


চিত্র 4.8

ক্রিয়াশীল তড়িচ্চালক বলের কোনরূপ তারতম্য হয় না। কাজেই, বর্তনীর তড়িচ্চালক বল অপরিবর্তিত রাখিয়া বর্তনীতে অ্যামিটার, মিলিভোল্টমিটার, গ্যালভানোমিটার ইত্যাদি মাপনী যন্ত্রের তার-কুণ্ডলী যুক্ত করা যায়।

#### 4.11 উষ্ণতার ব্যবধানের সহিত তাপ-তড়িচ্চালক বলের সম্পর্ক

তাপ যুগ্মের দুই সংযোগস্থলের উষ্ণতার ব্যবধান পরিবর্তিত হইলে উদ্ভূত তাপ-তড়িচ্চালক বল কীরূপভাবে পরিবর্তিত হইবে পরীক্ষার সাহায্যে তাহা নির্ণয় করিবার জন্য তাপ-যুগ্মের একটি সংযোগস্থলকে গলন্ত বরফের উষ্ণতায় (অর্থাৎ,  $0^{\circ}\text{C}$  উষ্ণতায়) রাখিয়া ধীরে ধীরে অপর সংযোগস্থলের উষ্ণতা বাড়ান যায় (চিত্র 4.9)।



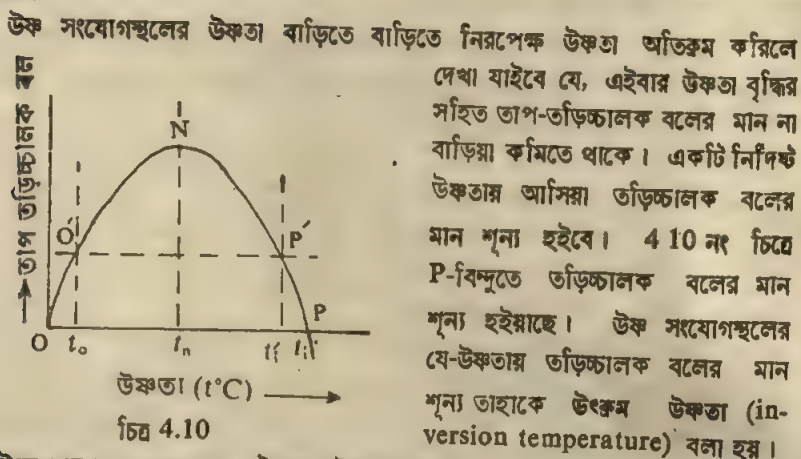
চিত্র 4.9

তড়িচ্চালক বল মাপিবার জন্য বর্তনীতে একটি মিলিভোল্টমিটার (mV) যুক্ত করা হইল। দেখা যাইবে যে, উষ্ণ সংযোগস্থলের উষ্ণতা  $1^{\circ}\text{C}$ -এর মান বাড়িতে থাকিলে প্রথমে তড়িচ্চালক বলের মানও বাড়িতে থাকিবে।

একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার ব্যবধানের জন্য বর্তনীর তড়িচ্চালক বলের মান সর্বোচ্চ হয়, ইহার পর উষ্ণ সংযোগস্থলের উষ্ণতা আরও বৃদ্ধি করিলে উদ্ভূত তড়িচ্চালক বলের মান কমিতে থাকে (চিত্র 4.9)। উষ্ণ সংযোগস্থলের যে-উষ্ণতায় তাপ-যুগ্মে উদ্ভূত তড়িচ্চালক বলের মান সর্বোচ্চ সেই উষ্ণতাকে নিরপেক্ষ উষ্ণতা (neutral temperature) বলে।

অর্থাৎ, কোন তাপ-যুগ্মের একটি সংযোগস্থলকে কোন নিম্ন উষ্ণতায় স্থির রাখিয়া অপর সংযোগস্থলের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে থাকিলে যে-উষ্ণতায় তাপ-যুগ্মে উদ্ভূত তড়িচ্চালক বলের মান গরিষ্ঠ (maximum) হয় তাহাকে ঐ তাপ-যুগ্মের নিরপেক্ষ উষ্ণতা বলা হয়। কোন একটি বিশেষ যুগ্মের ক্ষেত্রে এই উষ্ণতা নির্দিষ্ট। নিরপেক্ষ উষ্ণতা পদার্থ-দ্বয়ের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে, কিন্তু শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতার

উপর নির্ভর করে না। 4.10 নং চিত্রে নিরপেক্ষ উষ্ণতাকে  $t_n$  দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।



উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, উৎক্রম উষ্ণতা ধ্রুবক নহে, ইহার মান তাপ-যুগ্মের শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতার উপর নির্ভর করে।

উষ্ণতা ও তড়িচ্চালক বলের লেখচিত্রটি প্রায় অধিবৃত্তাকার। ইহার গাণিতিক সমীকরণটি নিম্নরূপ :

$$E = at + bt^2 \quad \dots (4.9)$$

এখানে  $t$  = সেন্টিগ্রেড স্কেলে উষ্ণ সংযোগস্থলের উষ্ণতা,

$a$  এবং  $b$  তাপ-যুগ্মের দুইটি ধ্রুবক।

শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা  $0^\circ\text{C}$  অপেক্ষা ভিন্ন (ধরি,  $t_0^\circ\text{C}$ ) হইলেও একই লেখচিত্র হইতে তড়িচ্চালক বলের মান পাওয়া যাইবে, কেবল লেখচিত্রটির মূল-বিন্দুকে  $O'$  বিন্দুতে সরাইয়া লইতে হয়। লক্ষ্য কর যে, ইহাতে নিরপেক্ষ উষ্ণতা  $t_n$ -এর কোনরূপ পরিবর্তন হইবে না, কিন্তু উৎক্রম উষ্ণতা  $t_i^\circ\text{C}$  হইতে পরিবর্তিত হইয়া  $t_i'^\circ\text{C}$ -এ আসিবে (চিত্র 4.10)।

ইহার তাৎপৰ্য এই যে, শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা বদলাইলে উৎক্রম উষ্ণতার পরিবর্তন ঘটে, কিন্তু নিরপেক্ষ উষ্ণতার কোন পরিবর্তন ঘটে না।

লক্ষণীয় যে, তাপ-যুগ্মের শীতল জোড়যুগ্মের উষ্ণতা হইতে ইহার নিরপেক্ষ উষ্ণতা যতটা বেশি উৎক্রম উষ্ণতা নিরপেক্ষ উষ্ণতা হইতে ঠিক ততটাই বেশি। অর্থাৎ,

$$(\text{নিরপেক্ষ উষ্ণতা } t_n) - (\text{শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা } t_0)$$

$$= (\text{উৎক্রম উষ্ণতা } t_i) - (\text{নিরপেক্ষ উষ্ণতা } t_n)$$

বা, নিরপেক্ষ উষ্ণতা

$$= \frac{\text{শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা} + \text{উৎক্রম উষ্ণতা}}{2}$$

2

অর্থাৎ, কোন তাপ-যুগ্মের শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা এবং উৎক্রম উষ্ণতার গড় লইলে উহার নিরপেক্ষ উষ্ণতা পাওয়া যায়।

• সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

**উদাহরণ 4.16** একটি তাপ-যুগ্মের উৎক্রম-উষ্ণতা  $540^{\circ}\text{C}$  এবং শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা  $-30^{\circ}\text{C}$ । উষ্ণ সংযোগস্থলের উষ্ণতা কত হইলে এই তাপ-যুগ্মে তড়িচ্চালকের মান সর্বোচ্চ হইবে?

**সমাধান :** আমরা জানি যে,

$$\text{নিরপেক্ষ উষ্ণতা, } t_n = \frac{t_o + t_i}{2}$$

এখানে,  $t_o$  = শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা =  $-30^{\circ}\text{C}$

$t_i$  = উৎক্রম-উষ্ণতা =  $540^{\circ}\text{C}$

$$\text{কাজেই, নিরপেক্ষ উষ্ণতা, } t_n = \frac{(540 - 30)^{\circ}\text{C}}{2} = 255^{\circ}\text{C}$$

**উদাহরণ 4.17** একটি তামা-লোহা তাপযুগ্মের শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা  $0^{\circ}\text{C}$ । যখন উষ্ণ সংযোগস্থলের উষ্ণতা  $275^{\circ}\text{C}$  তখন তাপ-তড়িচ্চালক বলের মান সর্বোচ্চ হয়। শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা  $20^{\circ}\text{C}$  হইলে এই তাপ-যুগ্মের উৎক্রম উষ্ণতা কত হইবে?

**সমাধান :** প্রশ্নানুসারে, নিরপেক্ষ উষ্ণতা,  $t_n = 275^{\circ}\text{C}$

ধরি, শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতা  $20^{\circ}\text{C}$  হইলে তাপ-যুগ্মের উৎক্রম-উষ্ণতা =  $t_i^{\circ}\text{C}$ ।

তাহা হইলে লেখা যায়,

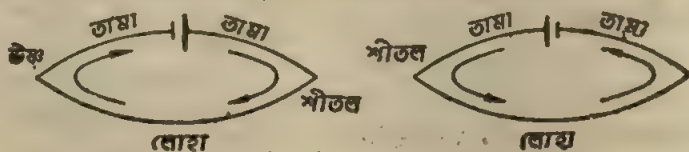
$$275 = \frac{t_i + 20}{2}$$

$$\text{বা, } t_i = (2 \times 275 - 20) = 530$$

অর্থাৎ, তাপ-যুগ্মের উৎক্রম-উষ্ণতা =  $530^{\circ}\text{C}$

#### 4.12 পেল্‌তিয়ের প্রতিক্রিয়া (Peltier effect)

1834 খ্রীস্টাব্দে ফরাসী বিজ্ঞানী পেল্‌তিয়ে (Jean C. Peltier) লক্ষ্য করেন যে, একটি তড়িৎ-কোষের সাহায্যে কোন তাপ-যুগ্মের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে, উহার একটি জোড়মুখে তাপ উৎপন্ন হয়, ফলে ঐ প্রান্ত উত্তপ্ত হয় এবং অপর জোড়মুখে তাপ শোষিত হয়; ফলে ঐ প্রান্ত শীতল হয় (চিত্র 4.11)। বর্তমান প্রবাহ বিপরীত-মুখী করিলে দেখা যাইবে যে, পূর্বে যে-জোড়মুখ উত্তপ্ত হইয়াছিল এইবার তাহা শীতল



চিত্র 4.11

হইতেছে এবং পূর্বে যে-জোড়মুখ শীতল হইয়াছিল এইবার তাহা উত্তপ্ত হইতেছে। এই প্রতিক্রিয়াকে পেল্‌তিয়ের প্রতিক্রিয়া বলা হয়। ইহাকে বিপরীত জীবেক প্রতিক্রিয়া (inverse Seebeck effect)-ও বলা হয়।



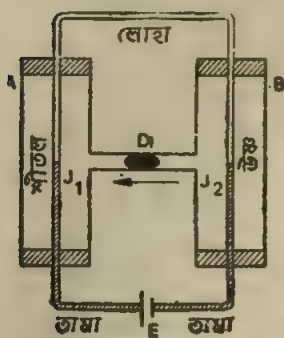
পেল্টিয়ের এই আবিষ্কার খুবই তাৎপর্যপূর্ণ। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, দুইটি বিভিন্ন ধাতুর সংযোগস্থানে একটি তড়িচ্চালক বল ক্রিয়া করে। তামা ও লোহার তৈয়ারী তাপ-যুগ্মের ক্ষেত্রে দেখা যায় যে, যে-সংযোগস্থানে তামা হইতে লোহার অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ চলে সেই স্থানে তাপ শোষিত হয় এবং অপর সংযোগস্থানটি উত্তপ্ত হয়। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, লোহা ও তামার সংযোগস্থানে তামা হইতে লোহার অভিমুখে একটি তড়িচ্চালক বল ক্রিয়াশীল।

তামা হইতে যখন লোহার অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ চলে তখন তড়িদাধান তড়িচ্চালক বলের অভিমুখে প্রবাহিত হয়। ফলে এই তড়িচ্চালক বল কার্য করে। এই কার্য করিবার শক্তি যোগায় ঐ সংযোগস্থানের তাপশক্তি। ফলে ঐ স্থানটি শীতল হইয়া পড়ে।

অপর সংযোগস্থানে লোহা হইতে তামার দিকে তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে তড়িদাধান প্রবাহিত হইতেছে তড়িচ্চালক বলের বিপরীত দিকে। কাজেই, আলোচ্য সংযোগস্থানে ক্রিয়াশীল তড়িচ্চালক বলের বিরুদ্ধে কার্য হয়। ইহাতে যে-শক্তি ব্যয়িত হয় তাহা তাপশক্তিরূপে আত্মপ্রকাশ করিয়া সংযোগস্থানটিকে উত্তপ্ত করে।

তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ বদলাইলে শীতল প্রান্ত ও উষ্ণ প্রান্ত পরস্পর স্থান পরিবর্তন করে কেন, উপরের আলোচনা হইতে ইহাও সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়।

**পেল্টিয়ে প্রক্রিয়ার পরীক্ষাভিত্তিক প্রদর্শন (Experimental demonstration of Peltier effect):** পেল্টিয়ে প্রক্রিয়াটি প্রদর্শন করিবার জন্য নিম্নের সহজ পরীক্ষাটি করা যায়। লোহা ও তামার তৈয়ারী একটি



চিত্র 4.12

$J_1$  ও  $J_2$  সংযোগস্থানদ্বয়ের মধ্যে উষ্ণতার ব্যবধান সৃষ্টি হইবে। 4.12 নং চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে  $J_1$  সংযোগস্থানে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ তামা হইতে লোহার দিকে। সুতরাং, ঐ সংযোগস্থানটি শীতল হইবে।  $J_2$  সংযোগস্থানে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ লোহা হইতে তামার দিকে। কাজেই এই সংযোগস্থান উত্তপ্ত হইবে।  $J_1$  সংযোগস্থান শীতল হইবার ফলে A নলের আবদ্ধ বায়ু সংকুচিত হয় এবং  $J_2$  সংযোগস্থান উষ্ণ হইবার ফলে B নলে আবদ্ধ বায়ু প্রসারিত হয়। ইহাতে D নলের সূচকটি ডান দিক হইতে বাম দিকে সরিয়া আসে।

তড়িৎ-কোষের মেরুদ্বয় উল্টাইয়া তড়িৎ-প্রবাহ বিপরীতমুখী করিলে  $J_1$  সংযোগস্থান উত্তপ্ত হইবে এবং  $J_2$  সংযোগস্থান শীতল হইবে, ফলে D নলের সূচক বিপরীতদিকে

( বাম দিক হইতে ডান দিকে ) সরিয়া যাইবে । ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, পেল্‌তিয়ের প্রক্রিয়া একটি প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া (reversible process) ।

#### 4.13 পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়া এবং জুলের প্রক্রিয়ার পার্থক্য (Distinction between Peltier effect and Joule's effect)

পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়া এবং জুল প্রক্রিয়া—উভয়েই তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল-সংক্রান্ত হইলেও এই দুই প্রক্রিয়া সম্পূর্ণ ভিন্ন । ইহাদের পার্থক্যগুলি নিম্নে তালিকার আকারে আলোচিত হইল ।

##### পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়া

(1) বিভিন্ন ধাতু-নির্মিত পরিবাহীর সম্মুখে তৈয়ারী তাপ-যুগ্মের ক্ষেত্রেই পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়া অনুসারে তাপের উদ্ভব ও শোষণ ঘটে ।

(2) পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়ার যুগ্মে তাপ উদ্ভূত হয় ও তাপ শোষিত হয় ।

(3) দুইটি ধাতুর সংযোগস্থানেই পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়ার তাপ উদ্ভূত বা শোষিত হয় ।

(4) পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়া প্রত্যাবর্তক (reversible), অর্থাৎ একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে যে-সংযোগস্থানে তাপ উদ্ভূত হয় উহার বিপরীত অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে সেই সংযোগস্থানেই তাপ শোষিত হয় ।

(5) পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়ার শোষিত বা উদ্ভূত তাপ তাপ-যুগ্মের প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক ।

(6) পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়ার উদ্ভূত তাপ বা শোষিত তাপ তাপ-যুগ্মের রোধের উপর নির্ভরশীল নয় ।

##### জুল প্রক্রিয়া

(1) যে-কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ গেলেই জুল প্রক্রিয়া অনুসারে তাপের উদ্ভব ঘটে ।

(2) জুল প্রক্রিয়ার তাপ শোষিত হয় না, কেবল তাপ উদ্ভূত হয় ।

(3) জুল প্রক্রিয়ার পরিবাহীর সর্বত্রই তাপ উদ্ভূত হয় ।

(4) জুল প্রক্রিয়ার তড়িৎ-প্রবাহের যে-কোন অভিমুখের জন্যই বর্তনীতে তাপ উদ্ভূত হয় । অর্থাৎ, জুল প্রক্রিয়া অপ্রত্যাবর্তক (irreversible) ।

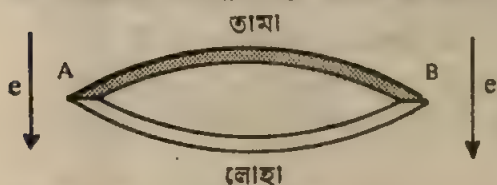
(5) জুল প্রক্রিয়ার উৎপন্ন তাপ প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক ।

(6) জুল প্রক্রিয়ার উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের উপর নির্ভরশীল ।

#### 4.14 জীবেক প্রক্রিয়া এবং পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা (Explanation of Seebeck and Peltier effects)

ইলেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে সহজেই জীবেক প্রক্রিয়ার এবং পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা করা যায় । প্রত্যেক ধাতব পরিবাহীতে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে । প্রতি একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা অবশ্য সকল ধাতুর ক্ষেত্রে সমান হয় না । ধাতুর অভ্যন্তরস্থ মুক্ত ইলেকট্রনগুলি গ্যাসের মত আচরণ করে । স্বভাবতই, এই ইলেকট্রন গ্যাসের চাপ বিভিন্ন

ধাতুর ক্ষেত্রে বিভিন্ন হয়। কাজেই, যখন বিভিন্ন ধাতব পদার্থকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনা হয় তখন একটি ধাতু হইতে ইলেকট্রন অন্য ধাতুতে স্থানান্তরিত হয়। ইলেকট্রনের এই স্থানান্তরের ফলে দুই ধাতুর সংযোগস্থলে একটি তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। এই

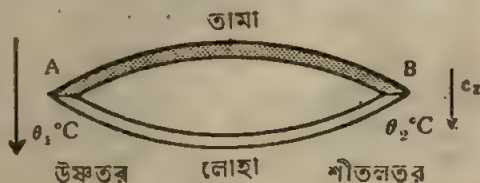


চিত্র 4.13

তড়িচ্চালক বলকে পেল্টিয়ে তড়িচ্চালক বল (Peltier c.m.f.) বলা হয়। তামা-লোহা যুগ্মের ক্ষেত্রে এই তড়িচ্চালক বল তামা হইতে লোহার অভিমুখে ক্রিয়াশীল (চিত্র 4.13)। তাপ-যুগ্মের কোন সংযোগস্থলে ক্রিয়াশীল তাপ-তড়িচ্চালক বল নির্ভর করে ঐ সংযোগস্থলের উষ্ণতার উপর। যখন তাপ-যুগ্মের দুই সংযোগস্থলের উষ্ণতা সমান হয় তখন উভয় সংযোগস্থলে উদ্ভূত পেল্টিয়ে তড়িচ্চালক বলের মান সমান হয়। দুই সংযোগস্থলের পেল্টিয়ে তড়িচ্চালক বল পরস্পরের বিপরীতমুখী বলিয়া এইরূপ ক্ষেত্রে তাপ-যুগ্মের মধ্য দিয়া কোন তড়িৎ-প্রবাহ চলে না।

এবার ধরি যে, একটি সংযোগস্থল A-এর উষ্ণতা  $\theta_1^\circ\text{C}$  এবং অন্য সংযোগস্থল B-এর উষ্ণতা  $\theta_2^\circ\text{C}$ । A-এর উষ্ণতা অপেক্ষা B-এর উষ্ণতা বেশি হইলে (অর্থাৎ  $\theta_1 > \theta_2$  হইলে) A সংযোগস্থলের পেল্টিয়ে তড়িচ্চালক বল ( $e_1$ ) B-সংযোগস্থলের পেল্টিয়ে তড়িচ্চালক বল  $e_2$  অপেক্ষা বেশি হইবে (চিত্র 4.14)। ইহার ফলে উক্ত তাপযুগ্মে একটি অপ্রতিমিত তড়িচ্চালক বল (unbalanced e.m.f.) ক্রিয়া করিবে। এই অপ্রতিমিত

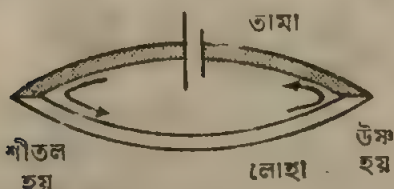
তড়িচ্চালক বল তাপযুগ্মের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবে। তামা-লোহা যুগ্মে উষ্ণতর সংযোগস্থলে এই প্রবাহ তামা হইতে লোহার দিকে প্রবাহিত হয়। ইহাই ইলেকট্রন তত্ত্বের আলোকে জীবক প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা। এইরূপ কোন তাপ-যুগ্মে একটি তড়িৎ-কোষ যুক্ত করিয়া উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার একটি সংযোগস্থলে কেন তাপ উদ্ভূত হয় এবং অন্য সংযোগস্থলে কেন তাপ শোষিত হয় তাহাও সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়।



চিত্র 4.14

দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবে। তামা-লোহা যুগ্মে উষ্ণতর সংযোগস্থলে এই প্রবাহ তামা হইতে লোহার দিকে প্রবাহিত হয়। ইহাই ইলেকট্রন তত্ত্বের আলোকে জীবক প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা।

এইরূপ কোন তাপ-যুগ্মে একটি তড়িৎ-কোষ যুক্ত করিয়া উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার একটি সংযোগস্থলে কেন তাপ উদ্ভূত হয় এবং অন্য সংযোগস্থলে কেন তাপ শোষিত হয় তাহাও সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়।



চিত্র 4.15

মনে করি, তামা-লোহা যুগ্মে একটি তড়িৎ-কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হইল যাহাতে A সংযোগস্থলে তড়িৎ-প্রবাহ যায় তামা হইতে লোহার দিকে এবং B সংযোগস্থলে তড়িৎ-প্রবাহ যায় লোহা হইতে তামার দিকে (চিত্র 4.15)।

যে-প্রান্তে পেল্টিয়ে তড়িচ্চালক বলের বিরুদ্ধে তড়িৎ-প্রবাহ যায় সেই প্রান্তে

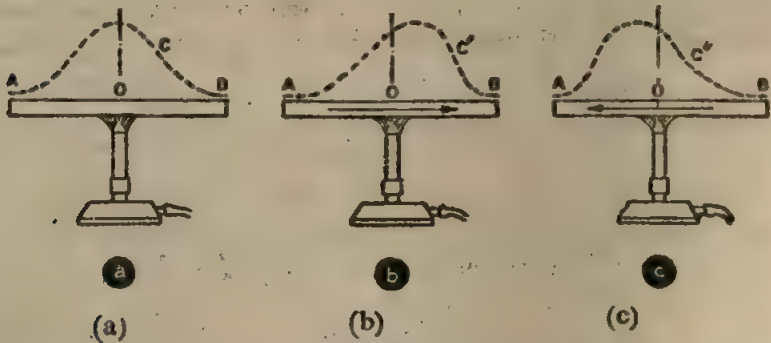
তড়িচ্চালক বলের বিরুদ্ধে কার্য হয়। এই কার্য করিতে তড়িৎ-কোষ যে-কার্য করে তাহা তাপ-শক্তি রূপে আত্মপ্রকাশ করিয়া উত্ত প্রান্তটিকে উত্তপ্ত করে।

আবার, যে-প্রান্তে পেন্‌তিয়ে তড়িচ্চালক বলের অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ চলে সেই প্রান্তে ঐ তড়িচ্চালক বলের উৎসই কার্য করে। ইহাতে ঐ প্রান্তের আভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায়, ফলে ঐ প্রান্ত শীতল হয়। ইহাই ইলেকট্রন তত্ত্বের আলোয় পেন্‌তিয়ে প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা।

#### 4.15 টমসন প্রক্রিয়া (Thomson effect)

1854 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী উইলিয়ম টমসন ( পরে যিনি লর্ড কেলভিন নামে পরিচিত হইয়াছিলেন ) তাত্ত্বিক বিবেচনার সাহায্যে ভবিষ্যদ্বাণী করেন যে, কোন কোন পরিবাহীর দৈর্ঘ্য বরাবর উষ্ণতার পার্থক্য থাকিলে ঐ পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ গেলে ঐ পরিবাহীতে তাপ শোষিত বা তাপ উদ্ভূত হইবে। পরীক্ষার দ্বারা লর্ড কেলভিনের এই ধারণা সমর্থিত হইয়াছে। ইহাকে টমসন প্রক্রিয়া বলা হয়। এখানে লক্ষণীয় যে, দুইটি বিভিন্ন ধাতুর সংস্পর্শের ফলে টমসন প্রক্রিয়ার উদ্ভব হয় না। একই পরিবাহীর বিভিন্ন অংশের উষ্ণতার বিভিন্নতার ফলে ঐ পরিবাহীর দুই প্রান্তে একটি তাপ-তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। ইহাকে টমসন তড়িচ্চালক বল (Thomson e. m. f.) বলা হয়। এই তড়িচ্চালক বলের ফলেই পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহাতে তাপ শোষিত বা তাপ উদ্ভূত হয়।

টমসন প্রক্রিয়াটি প্রদর্শনের জন্য নিম্নের পরীক্ষাটি করা যাইতে পারে। একটি তামার দণ্ড AB-এর ঠিক মাঝখানে একটি বার্নারের সাহায্যে উত্তপ্ত করিতে থাকিলে ঐ স্থানের উষ্ণতা সর্বোচ্চ হয় এবং মধ্যবিন্দু O হইতে উভয় পাশেই দূরত্বের সহিত উষ্ণতার মান প্রতিসমভাবে (symmetrically) কমিতে থাকে। মধ্যবিন্দু হইতে দূরত্বের সহিত উষ্ণতা কীরূপভাবে বদলায় তাহা কাটা লাইনের দ্বারা আঁকিত বক্ররেখা C-এর সাহায্যে দেখান হইয়াছে [ চিত্র 4.16 (a) ] C-বক্ররেখাটি তামার দণ্ডের মধ্যবিন্দুর উভয়পাশে প্রতিসম।



চিত্র 4.16

দণ্ডটির মধ্যস্থল হইতে বার্নার না সরাইয়া উহার A-প্রান্ত হইতে B-প্রান্তের দিকে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। কিছুক্ষণ পরে দেখা যাইবে যে, দূরত্ব-উষ্ণতা লেখচিত্রটি

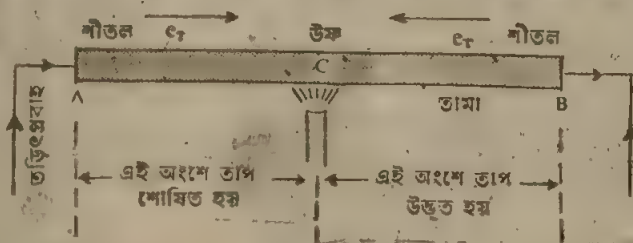


আর মধ্যবিন্দু O-এর দুই পার্শ্বে প্রতিসম (symmetrical) নাই। যে-পার্শ্বে তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে দণ্ডের সেই পার্শ্বের অর্ধাংশের (অর্থাৎ, OB অংশের) উচ্চতা বৃদ্ধি পাইয়াছে, অপর অর্ধাংশের (অর্থাৎ, OA অংশের) উচ্চতা কমিয়াছে। 4.16 (b) নং চিত্রে C'-বক্ররেখার সাহায্যে ইহা দেখান হইয়াছে। তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ বদলাইয়া B-প্রান্ত হইতে A-প্রান্তের দিকে প্রবাহ পাঠান হইলে কিছুক্ষণ পর দেখা যাইবে যে, এইবার OA-অংশের উচ্চতা বাড়িয়াছে এবং OB-অংশের উচ্চতা কমিয়াছে। এইরূপ ক্ষেত্রে বিভিন্ন বিন্দুর উচ্চতা কীরূপ হইবে তাহা C"-বক্ররেখাটির সাহায্যে দেখান হইয়াছে [ চিত্র 4.16 (c) ]।

### টমসন প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা :

তাত্ত্বিক বিচারে লর্ড কেলভিন দেখান যে, যদি কোন তাপ-স্রুয়ের দুই সংযোগস্থলেই কেবলমাত্র তড়িচ্চালক বল থাকিত তাহা হইলে কার্যকরী তাপ-তড়িচ্চালক বল (e) দুই সংযোগস্থলের উচ্চতার পার্থক্য  $\theta$ -এর সমানুপাতিক হইত। সেক্ষেত্রে, e- $\theta$  লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইত। কিন্তু আমরা দেখিয়াছি যে, e- $\theta$  লেখচিত্রটি প্রকৃতপক্ষে অধিবৃত্তাকার (অনুচ্ছেদ 4.11 দ্রষ্টব্য)। ইহা লক্ষ্য করিয়া লর্ড কেলভিন সিদ্ধান্তে আসিয়াছিলেন যে, কোন তাপ-স্রুয়ের দুই সংযোগস্থলের দুই পেল্লীত্রে তড়িচ্চালক বল ছাড়াও তাপ-স্রুয়ে তড়িচ্চালক বলের অন্য উৎস আছে। তিনি এই অভিমত ব্যক্ত করিয়াছিলেন যে, তাপস্রুয়ের প্রতিটি ধাতব পরিবাহীর দৈর্ঘ্য বরাবর উচ্চতার পার্থক্য থাকার দরুন উহাদের মধ্যে তড়িচ্চালক বলের (টমসন তড়িচ্চালক বল) সৃষ্টি হয়। এই তড়িচ্চালক বল পরিবাহীর উচ্চতার নতিমাত্রার (temperature gradient) অভিমুখেও হইতে পারে, আবার উচ্চতার নতিমাত্রার বিপরীতমুখেও হইতে পারে। প্রথম ক্ষেত্রে যে-টমসন প্রক্রিয়া ঘটে তাহাকে ধনাত্মক টমসন প্রক্রিয়া (positive Thomson effect) এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে যে-টমসন প্রক্রিয়া ঘটে তাহাকে ঋণাত্মক টমসন প্রক্রিয়া (negative Thomson effect) বলা হয়।

তামা, অ্যান্টিমনি, ক্যাডমিয়াম, দস্তা, রূপা ইত্যাদি ধাতুর ক্ষেত্রে যে-টমসন তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় তাহার অভিমুখ পরিবাহীর শীতলতর অংশ হইতে উচ্চতর অংশের দিকে। অর্থাৎ, এই সকল পরিবাহীর ক্ষেত্রে ধনাত্মক টমসন প্রক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়।



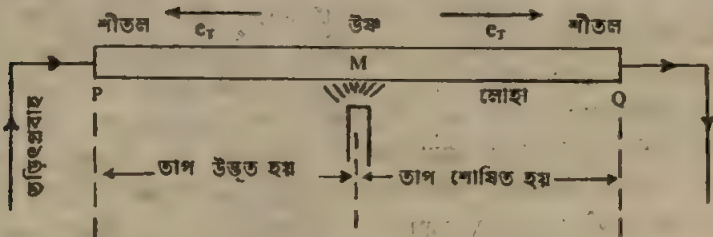
চিত্র 4.17

4.17 নং চিত্রে একটি তামার পরিবাহী (AB) দেখান হইয়াছে। ইহার মধ্যবিন্দুটি উত্তপ্ত করা হইয়াছে এবং দুই প্রান্ত শীতল রাখা হইয়াছে। তাহা হইলে দুই অর্ধেই

টমসন তড়িচ্চালক বল  $e_T$ -এর অভিমুখ হইবে প্রান্ত হইতে মধ্যবিন্দুর দিকে। এইবার তামার পরিবাহীর মধ্য দিয়া A প্রান্ত হইতে B প্রান্তের দিকে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ইহার AC অংশে তড়িৎ-প্রবাহ বাইবে টমসন তড়িচ্চালক বল  $e_T$ -এর অভিমুখে। ফলে এই তড়িচ্চালক বল কার্য করিবে এবং পরিবাহীর এই-অংশে তাপ শোষিত হইবে। আবার, পরিবাহীর CB অংশে তড়িৎ-প্রবাহ বাইবে টমসন তড়িচ্চালক বল  $e_T$ -এর বিপরীত দিকে। ইহাতে পরিবাহীর এই অংশে টমসন তড়িচ্চালক বলের বিরুদ্ধে কার্য সম্পাদিত হয়। এই কার্যে ব্যয়িত শক্তি তাপশক্তি রূপে আত্মপ্রকাশ করিয়া পরিবাহীর এই অংশকে উত্তপ্ত করিবে ( চিত্র 4.17 )।

লোহা, বিসমাখ, নিকেল, কোবাল্ট, প্র্যাটিনাম ইত্যাদি ধাতুর ক্ষেত্রে যে-টমসন তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় তাহার অভিমুখ পরিবাহীর উচ্চতর অংশ হইতে শীতলতর অংশের দিকে। অর্থাৎ, এই সকল পরিবাহীর ক্ষেত্রে ঋণাত্মক টমসন প্রক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়।

4.18 নং চিত্রে লোহার একটি পরিবাহী PQ দেখান হইয়াছে। ইহার মধ্যবিন্দু M উত্তপ্ত হইয়াছে এবং ইহার দুই প্রান্ত শীতল রাখা হইয়াছে। এক্ষেত্রে পরিবাহীর দুই অর্ধেই টমসন তড়িচ্চালক বল  $e_T$ -এর অভিমুখ হইবে মধ্যবিন্দু M হইতে প্রান্ত-বিন্দুর (P বা Q-এর) দিকে। এইবার লোহার এই পরিবাহীর মধ্য দিয়া P প্রান্ত হইতে Q প্রান্তের



চিত্র 4.18

দিকে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ইহার PM অংশে তড়িৎ-প্রবাহ বাইবে টমসন তড়িচ্চালক বল  $e_T$ -এর বিপরীত দিকে। ফলে এই অংশে টমসন তড়িচ্চালক বলের বিরুদ্ধে কার্য সম্পাদিত হইবে। এই কার্যে ব্যয়িত শক্তি তাপশক্তিরূপে আত্মপ্রকাশ করিয়া PM অংশকে উত্তপ্ত করিবে। আবার, পরিবাহীর MQ অংশে তড়িৎ-প্রবাহ বাইবে টমসন তড়িচ্চালক বল  $e_T$ -এর অভিমুখে। ফলে এই টমসন তড়িচ্চালক বল কার্য করিবে এবং এই অংশে তাপ শোষিত হইবে।

কোন পরিবাহীর বিভিন্ন অংশের মধ্যে উচ্চতর পার্থক্যের দ্বন্বন উহাতে টমসন তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় কেন ইলেকট্রন তত্ত্বের আলোতে তাহার মোটামুটি ব্যাখ্যা পাওয়া যায়।

ধাতব পরিবাহীতে বহু সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। এই মুক্ত ইলেকট্রনগুলি আদর্শ গ্যাসের অণুগুলির মত আচরণ করে। আমরা জানি যে, কোন গ্যাসের ঘনত্ব নির্ভর করে উহার উচ্চতার উপর। কাজেই, কোন ধাতব পরিবাহীর বিভিন্ন অংশের উচ্চতর পার্থক্য থাকিলে উহার বিভিন্ন অংশে মুক্ত ইলেকট্রনের ঘনত্বও বিভিন্ন হইবে।

যে-অংশের উষ্ণতা কম সেই অংশে ইলেকট্রনের ঘনত্ব কম হওয়াই প্রত্যাশিত। সুতরাং, কোন পরিবাহীর যে-অংশ শীতলতর সেই অংশ উষ্ণতর অংশের সাপেক্ষে ঋণাত্মক হইবে। এই বৃত্তিতে ধাতব পরিবাহীতে উষ্ণতার পার্থক্যের দ্বারা টেমসন তড়িচ্চালক বলের উদ্ভবের ব্যাখ্যা পাওয়া যায় সত্য, কিন্তু কোন কোন ধাতব পরিবাহীতে ধনাত্মক টেমসন প্রক্রিয়া এবং কোন কোন ধাতব পরিবাহীতে ঋণাত্মক টেমসন তড়িচ্চালক বল দেখা যায় কেন এই সরল তত্ত্বের সাহায্যে তাহার ব্যাখ্যা পাওয়া যায় না।

#### 4.16 তাপ-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যবহারিক প্রয়োগ

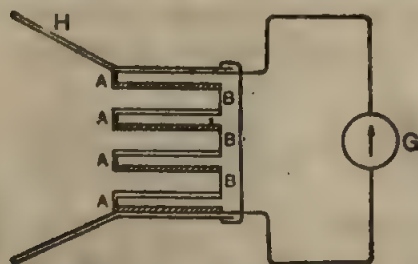
তাপ-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ভিত্তিতে নানানুপ যন্ত্র উদ্ভাবিত হইয়াছে। এই সকল যন্ত্রের সাহায্যে উষ্ণতার পরিমাপ, সৌর বিকিরণের পরিমাপ, উচ্চ কম্পাঙ্কবিশিষ্ট পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ (high-frequency alternative current) পরিমাপ ইত্যাদি করা যায়। নিচে আমরা তাপ-তড়িৎ প্রক্রিয়ার দুইটি প্রয়োগ উল্লেখ করিব।

##### (i) উষ্ণতার পরিমাপ (Measurement of temperature) :

তাপ-যুগ্মে উদ্ভূত তাপ-তড়িচ্চালক বল উহার দুই জোড়মুখের উষ্ণতার পার্থক্য দ্বারা নির্ধারিত হয়। এই দুই জোড়মুখের একটির উষ্ণতা স্থির রাখিয়া অন্যটির উষ্ণতা পরিবর্তন করিলে তাপ-যুগ্মে উদ্ভূত তাপ-তড়িচ্চালক বল দ্বিতীয় জোড়মুখের উষ্ণতার উপর নির্ভর করিবে। কাজেই, তাপ-তড়িচ্চালক বল পরিমাপ করিয়া দ্বিতীয় জোড়মুখের উষ্ণতার পরিমাপ করা যায়। এই উদ্দেশ্যে একটি জোড়মুখের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া অন্যটির বিভিন্ন উষ্ণতায় তাপ-তড়িচ্চালক বল মাপিয়া একটি ক্রমাঙ্কন লেখ (calibration curve) অঙ্কন করিয়া লইতে হয়। সাধারণত পোটেনসিওমিটার যন্ত্র ব্যবহার করিয়া উষ্ণতার পার্থক্যের সহিত তাপ-তড়িচ্চালক বলের সম্পর্ক নির্ণয় করা হয়। ক্রমাঙ্কন লেখ আঁকিয়া লইবার পর বিভিন্ন জোড়মুখটিকে পরীক্ষাধীন বস্তুর (যাহার উষ্ণতা মাপিতে হইবে) সান্নিধ্যে রাখা হয়। এই অবস্থায় তাপ-যুগ্মে উদ্ভূত তড়িচ্চালক বলের মান কত তাহা নির্ণয় করিয়া লইলে ক্রমাঙ্কন লেখ হইতে সহজেই পরীক্ষাধীন বস্তুর উষ্ণতা পাওয়া যায়।

##### (ii) বিকিরণের পরিমাপ (Radiation measurement) :

তাপশক্তিকে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করিয়া তাপীয় বিকিরণের পরিমাপের উদ্দেশ্যে থার্মোপাইল (thermopile) নামে একটি যন্ত্র উদ্ভাবিত হইয়াছে। বহু সংখ্যক তাপ-



চিত্র 4.19

যুগ্ম (সাধারণত অ্যান্টিমনি-বিসমাথ তাপ-যুগ্ম) শ্রেণী সম্বন্ধে যুক্ত করিয়া এই যন্ত্র নির্মিত হয়। তাপ-যুগ্মের এই শ্রেণী সম্বন্ধে একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটার G যুক্ত করা হয় (চিত্র 4.19)। থার্মোপাইলের যে-জোড়মুখগুলিকে উত্তপ্ত করিতে হইবে চিহ্নে উহাদিগকে A দ্বারা এবং অন্য জোড়মুখগুলিকে B দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে। এই জোড়গুলির উপর

আপাতত বিকিরণ বাহ্যতে সহজেই শোষিত হইয়া ইহাদিগকে উত্তপ্ত করিতে পারে

এই উদ্দেশ্যে এই জোড়গুলি কালো রঙ করা থাকে। পরীক্ষাধীন বিকিরণ বাহাতে এই জোড়মুখগুলির উপর কেন্দ্রীভূত হইতে পারে এ উদ্দেশ্যে ধার্মোপাইলের উষ্ণ জোড়মুখ-গুচ্ছের সম্মুখে একটি ধাতব শঙ্কু (H) লাগান থাকে। ধার্মোপাইলের উষ্ণ জোড়মুখগুচ্ছে বিকিরণ আপতিত হইলে জোড়মুখগুচ্ছ উত্তপ্ত হয়। ইহাতে ধার্মোপাইলে তাপ-তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় এবং গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ ঘটে। এই বিক্ষেপের পরিমাণ হইতে পরীক্ষাধীন বিকিরণের প্রাবল্য নির্ণয় করা যায়।

### সার-সংক্ষেপ

পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহাতে তাপ উৎপন্ন হয়। তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া সম্পর্কে জুলের সূত্র তিনটি নিম্নরূপ :

(i) প্রবাহমাত্রার সূত্র : পরিবাহীর রোধ (R) এবং সময় (t) অপরিবর্তিত থাকিলে উৎপন্ন তাপ (H) তড়িৎ-প্রবাহ I-এর বর্গের সমানুপাতিক।

(ii) রোধের সূত্র : প্রবাহমাত্রা I এবং সময় t অপরিবর্তিত থাকিলে উৎপন্ন তাপ H পরিবাহীর রোধ R-এর সমানুপাতিক।

(iii) সময়ের সূত্র : তড়িৎ-প্রবাহ I এবং পরিবাহীর রোধ নির্দিষ্ট থাকিলে পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ (H) সময় t-এর সমানুপাতিক।

ভািত্তিক বিচারে দেখান যায় যে, R Ω রোধসম্পন্ন পরিবাহীর মধ্য দিয়া t সেকেন্ডে সময় ধরিয়া I অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ গেলে উৎপন্ন তাপ,

$$H = 0.24 I^2 R t \text{ cal}$$

কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তে যদি V বিভব-বৈষম্য বজায় থাকে এবং উহার মধ্য দিয়া t সময় ধরিয়া I তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হয় তবে পরিবাহীতে সম্পাদিত কার্য,

$$W = V.I.t$$

V-কে ভোল্টে, I-কে অ্যাম্পিয়ারে এবং t-কে সেকেন্ডে প্রকাশ করিলে,

$$W = V.I.t \text{ ভোল্ট-অ্যাম্পিয়ার-সেকেন্ড} = VI t \text{ জুল বা ওয়াট-সেকেন্ড}$$

ওয়াট-ঘণ্টা এবং কিলোওয়াট-ঘণ্টা শক্তির বৃহত্তর একক। কিলোওয়াট-ঘণ্টা একককে বোর্ড অফ্ ট্রেড একক বা B. O. T. এককও বলা হয়।

1 বোর্ড অফ্ ট্রেড একক (B. O. T.) বা কিলোওয়াট-ঘণ্টা

$$= \frac{\text{ভোল্ট} \times \text{অ্যাম্পিয়ার} \times \text{ঘণ্টা}}{1000}$$

বৈদ্যুতিক চুম্বী, বৈদ্যুতিক ফিউজ, বৈদ্যুতিক বাতি, বৈদ্যুতিক হিটার এবং ইত্ৰী ইত্যাদি যন্ত্রে তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল কাজে লাগান হয়।

দুইটি বিভিন্ন ধাতুর তারের দুই প্রান্ত পরস্পর যুক্ত করিয়া একটি বন্ধ বর্তনী সৃষ্টি করিয়া এই দুই তারের সংযোগস্থল দুইটিকে বিভিন্ন উষ্ণতায় রাখিলে বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই প্রবাহকে তাপ-তড়িৎ-প্রবাহ বলে। এই প্রক্রিয়াটিকে বলা হয় জীবেক প্রক্রিয়া (Seebeck effect)। বিভিন্ন ধাতুর তার দ্বারা তৈয়ারী তাপ-যুগ্মের দুই প্রান্তে উষ্ণতার পার্থক্য থাকিলে যে-তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় তাহাকে তাপ-



তড়িচ্চালক বল (thermo-electromotive force) বলা হয়। উক্ততার পার্থক্য :  
এবং তড়িচ্চালক বল  $E$ -এর সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$E = at + bt^2$$

এখানে  $a$  এবং  $b$  হইল তাপ-যুগ্মটির দুইটি ধ্রুবক। বিভিন্ন তাপযুগ্মের ক্ষেত্রে ইহাদের মান বিভিন্ন।

কোন তাপ-যুগ্মের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার এক প্রান্তে তাপের উদ্ভব হয় এবং অন্য প্রান্তে তাপ শোষিত হয়। এই প্রক্রিয়াকে পেল্টিয়ের প্রক্রিয়া (Peltier effect) বলা হয়। কোন সমসত্ত্ব পরিবাহীর দৈর্ঘ্য বরাবর উক্ততার ব্যবধান থাকিলে ঐ পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ গেলে উহাতে তাপ শোষিত বা উদ্ভূত হয়। এই প্রক্রিয়াকে টমসন প্রক্রিয়া বলা হয়।

### প্রশ্নাবলী 4

#### কুছোত্তর প্রশ্নাবলী

1. একটি বাতির উপর '230 V-60 W' লেখা আছে। ইহার তাৎপর্য কী?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981, 1978]

2. বেশি তাপ উৎপাদনের জন্য উচ্চ মানের রোধ নাকি নিম্নমানের রোধ ব্যবহার করিতে হইবে দুইজন ছাত্রকে ইহা জিজ্ঞাসা করা হইল। তাহাদের একজন  $P = (V^2/R)$  সমীকরণটি ব্যবহার করিল এবং বলিল, 'নিম্নমানের রোধ।' অপর ছাত্রটি  $P = I^2 R$  সমীকরণটি ব্যবহার করিয়া বলিল, 'উচ্চ মানের রোধ।' এ প্রসঙ্গে তোমার মতামত প্রকাশ কর।

3. 250 W বৈদ্যুতিক বাতি অপেক্ষা 100 W বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেন্টের রোধ বেশি না কম? উভয় বাতিই 220 V সরবরাহ লাইনে ব্যবহৃত হইবার জন্য নির্মিত হইয়াছে।

4. 220 V লাইনে কয়েকটি বাতি শ্রেণী-সমবায়েরে যুক্ত করা হইল। একটি বাতি ফিউজ হইবার পর বাকি বাতিগুলি পুনরায় ঐ একই লাইনে শ্রেণী-সমবায়েরে যুক্ত করা হইল। কোন্ ক্ষেত্রে বাতিগুলির উজ্জ্বল্য বেশি হইবে এবং কেন? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

5. সুইচের সাহায্যে বর্তনী সংহত করিবার 15 মিনিট পর একটি বৈদ্যুতিক কেটলীর তরল ফুটিতে আরম্ভ করে। ইহার তাপক-তারটির দৈর্ঘ্য 6 মিটার। তাপক-তারটির কী পরিবর্তন করিলে সুইচ 'অন' করিবার 10 মিনিট পর কেটলীর তরল ফুটিতে থাকিবে? পারিপার্শ্বিক বায়ুমণ্ডলে তাপক্ষয় উপেক্ষা কর।

6. দুইটি সদৃশ তাপক-কুণ্ডলীকে দুইটি ক্যাচের কুণ্ডে আবদ্ধ অবস্থায় রাখা হইল। কুণ্ড দুইটির একটিকে বায়ুশূন্য এবং অপরটিকে হাইড্রোজেন গ্যাস দ্বারা পূর্ণ করা হইল। কুণ্ডলী দুইটিকে শ্রেণী-সমবায়েরে যুক্ত করিয়া উহাদের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল বাহাতে উহারা আলো বিকিরণ করে। ইহাদের মধ্যে কোন্টি অধিকতর উজ্জ্বলভাবে জ্বলিবে? যুক্তিসহ সংক্ষেপে উত্তর দাও।

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1974]

7. দুইটি 120 V-40 W বাতিকে শ্রেণী-সমবায়েরে একটি 120 V বর্তনীতে যুক্ত করা হইল। ইহাদের মধ্যে একটি বাতির ফিলামেন্ট খাতু নির্মিত এবং অপরটির ফিলামেন্ট কার্বন-নির্মিত। কোন্ ফিলামেন্টটি অধিকতর উজ্জ্বলভাবে জ্বলিবে?

8. বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেন্ট এবং লাইন তারের মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ বার,

কিন্তু কেবলমাত্র বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেন্টই খেত-তপ্ত এবং ভাঙ্গর হইয়া উঠে। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

9. একটি 25 W বাতি এবং একটি 100 W বাতিকে শ্রেণী-সমবাসে যুক্ত করিয়া ঐ শ্রেণী-সমবাসকে বৈদ্যুতিক মেইন-এর সহিত যুক্ত করা হইল। কোন্ বাতিটি অপেক্ষাকৃত বেশি উজ্জ্বলভাবে জ্বলিবে? [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1964]

10. বাড়ির বৈদ্যুতিক সংযোগ ব্যবস্থার ফিউজ ব্যবহৃত হয় কেন?

11. যে-বৈদ্যুতিক হিটার সমপ্রবাহ সরবরাহ লাইন-এ (d. c. line) ব্যবহৃত হয় উহাকে পরিবর্তী প্রবাহ লাইনেও (a. c. line) যুক্ত করা যায় কেন ব্যাখ্যা কর।

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1973]

12. একটি বৈদ্যুতিক হিটারে নিরবচ্ছিন্নভাবে তাপ উৎপন্ন হইতে থাকে, কিন্তু ইহার উষ্ণতা কিছুকণ পর স্থির হইয়া যায়। ইহার কারণ কী?

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1975]

13. কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ গেলে উহাতে তাপ-উৎপাদনের জ্বলের প্রক্রিয়াটি অপ্রত্যাবর্তী, কিন্তু তাপ-বৈদ্যুতিক প্রক্রিয়াগুলি প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া। এই উক্তির সপক্ষে যুক্তি দাও।

14. কোন তাপ-যুগ্মের তাপ-তড়িচ্চালক বল-উষ্ণতা লেখচিত্র আঁকিয়া উহাতে তাপ-যুগ্মের নিরপেক্ষ উষ্ণতা এবং উৎকর্ষ উষ্ণতা নির্দেশ কর। [জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1979]

15. 'নিরপেক্ষ-উষ্ণতা তাপ-যুগ্মের শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না, কিন্তু উৎকর্ষ উষ্ণতা শীতল সংযোগস্থলের উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল।' ব্যাখ্যা কর।

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

16. (a) তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল-সংক্রান্ত জ্বলের সূত্রগুলি বিবৃত কর। (b) বৈদ্যুতিক পদ্ধতিতে তাপের বাস্তবিক তুল্যাঙ্ক কীভাবে নির্ণয় করা যায়? [উচ্চ মাধ্যমিক (দ্বিপদ্য), 1980, 1982] (c) তাপ-যুগ্ম কাহাকে বলে? [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980]

17. (a) তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া-সংক্রান্ত জ্বলের সূত্রগুলি আলোচনা কর।

(b) দেখাও যে, শ্রেণী-সমবাসে কয়েকটি পরিবাহীর ক্ষেত্রে প্রতিটিতে উৎপন্ন তাপ উহার রোধের সমানুপাতিক, কিন্তু সমান্তরাল সমবাসে যুক্ত কয়েকটি পরিবাহীর ক্ষেত্রে প্রতিটিতে উৎপন্ন তাপ উহার রোধের ব্যস্তানুপাতিক।

(c) 'বৈদ্যুতের বিল মিটাইবার সময় আমরা ব্যয়িত বৈদ্যুতিক শক্তির দাম দিই।' উক্তিটি ব্যাখ্যা কর। [সংসদের নমনা প্রশ্ন, 1978]

18. (a) তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল-সংক্রান্ত জ্বলের সূত্রগুলি লিখ। বৈদ্যুতিক পদ্ধতিতে তাপের বাস্তবিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় সংক্ষেপে বর্ণনা কর এবং যে-সূত্র ব্যবহার করিবে তাহা প্রতিষ্ঠা কর।

(b) 220V-66W বৈদ্যুতিক বাতি বলিতে কী বুঝ? বাতিটি 220 V সরবরাহ লাইনের সহিত যুক্ত করিয়া জালানো হইল। জলন্ত অবস্থায় বাতির ফিলামেন্টের রোধ নির্ণয় কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1987]

19. (a) তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল-সংক্রান্ত জ্বলের সূত্র বিবৃত কর। (b) বৈদ্যুতিক

প্রণালীতে তাপের শাস্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করা যায়—ব্যাখ্যা কর। (c)  $10\Omega$  রোধের মধ্য দিয়ে  $0.8A$  প্রবাহ 1 মিনিট সময়ের জন্য চালিত করিলে কত তাপ উৎপন্ন হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (দ্বিপদ্য), 1981]

20. (a) তড়িৎ-বর্তনীতে তাপ-উৎপাদন সম্পর্কে জুলের সূত্রটি ব্যাখ্যা কর। B. O. T. একক বলিতে কী বুঝ?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1978]

(b) তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল সম্পর্কে জুলের সূত্রগুলি বিবৃত কর। তাপের শাস্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ের বৈদ্যুতিক পদ্ধতিটি বর্ণনা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (দ্বিপদ্য), 1978]

21. (a) তড়িৎ-প্রবাহের দ্বারা তাপ-উৎপাদন সম্পর্কে জুলের সূত্র বিবৃত কর। শক্তির নিত্যতা সূত্র হইতে জুলের সূত্রটি প্রতিষ্ঠা কর।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

(b) জুল, ওয়াট এবং বোর্ড অফ্ ট্রেড ইউনিট বলিতে কী বুঝ?

22. (i) জীবক প্রক্রিয়া, পেলুতিয়ে প্রক্রিয়া ও টেমসন প্রক্রিয়া কাহাকে বলে এবং এই প্রক্রিয়াগুলির পরীক্ষাভিত্তিক প্রদর্শন সম্পর্কে আলোচনা কর।

(ii) জুল প্রক্রিয়া ও পেলুতিয়ে প্রক্রিয়ার পার্থক্য কী? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

23. তাপ-শূণ্য, তাপ-তড়িচ্চালক বল, নিরপেক্ষ উষ্ণতা ও উৎকর্ষ উষ্ণতা বলিতে কী বুঝ ব্যাখ্যা কর।

24. পেলুতিয়ে প্রক্রিয়া বলিতে কী বুঝ? পরীক্ষার সাহায্যে কীভাবে পেলুতিয়ে প্রক্রিয়া দেখান যায় আলোচনা কর।

25. পেলুতিয়ে প্রক্রিয়া কাহাকে বলে? এই প্রক্রিয়ার সহিত জুল প্রক্রিয়ার পার্থক্য কী? এই প্রক্রিয়া প্রদর্শনের জন্য একটি পরীক্ষা পদ্ধতির বর্ণনা কর।

26. জীবক প্রক্রিয়া এবং পেলুতিয়ে প্রক্রিয়া কী? তাপ-তড়িৎ-প্রবাহ এবং তাপ-তড়িচ্চালক বল বলিতে কি বুঝ? তাপ-শূণ্য কী? তাপ-শূণ্যের সাহায্যে অজানা উষ্ণতা নির্ণয় করিবে কীরূপে?

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987]

27. (a) একটি তারের মধ্য দিয়ে কিছুক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করা হইল। ঐ তারে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ নিম্নোক্ত রাশিগুলির উপর কীভাবে নির্ভর করিবে বল : (i) তারের দৈর্ঘ্য, (ii) তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, (iii) তারের উপাদানের রোধাঙ্ক এবং (iv) তারের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য (প্রথম তিনটি ক্ষেত্রে বিভব-বৈষম্য স্থির আছে ধরিতে হইবে)।

(b) তড়িৎ-শক্তির একক B. O. T.-এর সংজ্ঞা দাও।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1985]

28. সংজ্ঞা দাও : বৈদ্যুতিক শক্তি এবং ক্ষমতা। ইহাদের ব্যবহারিক এককের নাম লিখ।

ওয়াট এবং কিলোওয়াট-ঘণ্টার সংজ্ঞা লেখ।

একটি বৈদ্যুতিক বাতির উপর  $230V-100W$  লেখা আছে। ইহার তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর। ভাষার অবস্থান ইহার রোধ কত? যদি এই বাল্বটি দৈনিক 6 ঘণ্টা করিয়া জলে তাহা হইলে 30 দিনে কত একক বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যয়িত হইবে?

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987]

29. (a) জীবক প্রক্রিয়া কাহাকে বলে? চিত্রের সাহায্যে নিরপেক্ষ উষ্ণতার ব্যাখ্যা দাও।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]

(b) টমসন প্রক্রিয়া কাহাকে বলে? এই প্রক্রিয়া প্রদর্শনের একটি পরীক্ষা-ব্যবস্থার বর্ণনা দাও।

**প্রাথমিক প্রশ্নাবলী**

30. একটি কাচের নলের অক্ষ বরাবর সঞ্চিত  $5\Omega$  রোধবিশিষ্ট তারের  $1\text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। নলের মধ্য দিয়া মিনিটে  $15\text{ cm}^3$  জল প্রবাহিত হয়। জলের প্রবেশ ও নির্গম পথে উষ্ণতার পার্থক্য  $48^\circ\text{C}$  হইলে  $J$ -এর মান কত? (তাপকর উপেক্ষা কর)

[উচ্চ মাধ্যমিক (দ্বিপদ্য), 1982] [ $4.17\text{ J/cal}$ ]

31. একটি বৈদ্যুতিক হিটারকে  $110\text{ volt}$  বিভব-বৈষম্যসম্পন্ন সরবরাহ লাইনের সহিত যুক্ত করিলে  $5$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলে। প্রতি মিনিটে উহাতে কী পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হয়?

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978] [ $7920\text{ cal}$ ]

32.  $100$  ওয়াটের একটি বৈদ্যুতিক পাখা এবং  $40$  ওয়াটের একটি বৈদ্যুতিক বাতি দৈনিক  $6$  ঘণ্টা করিয়া ব্যবহৃত হইলে  $30$  দিনের মাসিক বিল কত হইবে? প্রতি বি. ও. টি. এককের মূল্য  $20$  পরসা।

[ $5.04$  টাকা]

33.  $2\Omega$  এবং  $4\Omega$  রোধবিশিষ্ট দুইটি তারকে প্রণী-সমবাহে যুক্ত করিয়া দুই প্রান্তে  $6\text{ volt}$  বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করা হইল। তার দুইটিতে উদ্ভূত তাপের হার তুলনা কর। উহাদিগকে সমান্তরাল-সমবাহে যোগ করিলেই বা উদ্ভূত তাপের হারের অনুপাত কত হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1964] [ $1 : 2, 2 : 1$ ]

34.  $10\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি তারকে  $10\text{ gm}$  জলসমাবিশিষ্ট ক্যালারিমিটারের মধ্যে রাখা হইল। ক্যালারিমিটারে  $500\text{ gm}$  জল রহিয়াছে। তারের মধ্য দিয়া  $10$  মিনিট ধরিয়া  $2\text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে জলের উষ্ণতা  $11.8^\circ\text{C}$  বৃদ্ধি পাইলে তাপের বাস্তবিক তুল্যাক্ষের মান নির্ণয় কর।

[ $4 \times 10^7\text{ erg/cal}$ ]

35. একটি '200V-200W' বাতির সহিত '200V-100W' বাতিকে প্রণী-সমবাহে যুক্ত করিয়া  $200\text{ volt}$  মেইনে যুক্ত করিলে উহাদের মধ্যে কী হারে শক্তি ব্যয়িত হইবে?

[ $22.2\text{ watt}, 44.4\text{ watt}$ ]

36.  $20\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি তারের মধ্য দিয়া  $5$  মিনিট ধরিয়া  $10$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। (i) প্রবাহিত মোট আধান, (ii) ব্যয়িত শক্তি এবং (iii) উৎপন্ন তাপ নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1966]

[ $3000\text{ C}, 6 \times 10^5\text{ J}, 1.44 \times 10^5\text{ cal}$ ]

37. একটি বৈদ্যুতিক কেটলিতে তাপন-কুণ্ডলীর রোধ  $53\text{ ohm}$ । কেটলিকে  $230\text{ volt}$  মেইনের সহিত যুক্ত করিলে কত সময়ে  $15^\circ\text{C}$  উষ্ণতার  $0.3\text{ kg}$  বিশুদ্ধ জল স্ফুটনাঙ্কে পৌঁছাবে?  $J = 4.2\text{ joules/cal}$ ।

[ $1$  মিনিট  $49$  সেকেন্ড (প্রায়)]

38. জলন্ত অবস্থায়  $200\text{V-60W}$  বাতির রোধ কত? বাতিটি  $24$  ঘণ্টা জ্বালাইলে মোট কী পরিমাণ শক্তি ব্যয়িত হইবে? প্রতি বি. ও. টি. এককের মূল্য  $25$  পরসা হইলে  $30$  দিনে ঐ বাতির জন্য কত খরচ হইবে? [ $806.67\Omega, 1.44\text{ kilowatt-hour}, 10.80$  টাকা]

39. একটি হিটারের তাপন-কুণ্ডলিতে  $200\text{ volt}$  বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করা হইয়াছে



এবং উহার মধ্য দিয়া 8.4 A তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। 2 মিনিটে ঐ হিটারে কত ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হইবে?  $[4.8 \times 10^4 \text{ cal}]$

40. একই উপাদানের তৈরার দুইটি তারের ভর সমান, কিন্তু প্রথমটির দৈর্ঘ্য দ্বিতীয়টির দ্বিগুণ। (i) উহাদের দুই প্রান্তে একই বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে এবং (ii) উহাদের মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহাদের মধ্যে উৎপন্ন তাপের হার তুলনা কর।

$$[1 : 4, 4 : 1]$$

41.  $2\Omega$  এবং  $3\Omega$  রোধসম্পন্ন দুইটি রোধক সমান্তরাল-সমবাহে যুক্ত রাখিয়াছে। উহাদের সহিত কী মানের তৃতীয় একটি রোধ 12 volt ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করিলে 36 watts হারে শক্তি ব্যয়িত হইবে?  $[2.12\Omega$  শ্রেণীতে যুক্ত করিতে হইবে]

42. 100 gm জলসমাবিশিষ্ট একটি ইলেকট্রিক কেটলীতে  $85^\circ\text{C}$  উষ্ণতার 1 kg জল আছে। কেটলীটিকে 230 volt বিভব-বৈষম্যবিশিষ্ট সরবরাহ লাইনের সহিত যুক্ত করা হইয়াছে। কেটলীর তাপন-কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 4 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। উৎপন্ন তাপের 10% অপচিত হইতেছে খরসা লইয়া কেটলীর জল ফুটাইবার জন্য কত সময় প্রয়োজন নির্ণয় কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1970]  $[83.35 \text{ sec}]$

43.  $0.7\Omega$  রোধসম্পন্ন একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 10 মিনিট সময় খরসা 3.6 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। কুণ্ডলীটিকে 20 gm জলসমাবিশিষ্ট একটি ক্যালরিমিটারে রাখিত 180 gm জলে নির্মাঙ্কিত অবস্থার রাখা হইল। ক্যালরিমিটার ও জলের প্রাথমিক উষ্ণতা  $30^\circ\text{C}$ । যদি তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপের সবটুকুই ক্যালরিমিটার এবং জল-কর্তৃক শোষিত হয় তাহা হইলে উহাদের অন্তিম উষ্ণতা কত হইবে? তাপের বাস্তবিক তুল্যাঙ্ক =  $4.2 \text{ জুল/ক্যালরি}$ ।  $[36.53^\circ\text{C}]$

44.  $\frac{1}{3}$  কিলোগ্রাট ক্ষমতাসম্পন্ন বৈদ্যুতিক কেটলীতে রাখিত  $30^\circ\text{C}$  উষ্ণতার 1 kg জল কতক্ষণ পর ফুটিতে আরম্ভ করিবে? (তাপের জুল-তুল্যাঙ্ক =  $4.2 \text{ জুল/ক্যালরি}$ )

[লংসবের নমুনা প্রশ্ন, 1980]  $[10 \text{ মিনিট } 48 \text{ সেকেন্ড}]$

45.  $10\Omega$  রোধের মধ্য দিয়া 1 মিনিট খরসা  $0.8$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইলে উহাতে কী পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (রিপূরা), 1987]  $[92.16 \text{ cal (প্রায়)}]$

46. 500 watt ক্ষমতাসম্পন্ন একটি বৈদ্যুতিক কেটলী এক লিটার জলকে 15 মিনিট সময়ে  $25^\circ\text{C}$  হইতে  $100^\circ\text{C}$  উষ্ণতার তোলে। বৈদ্যুতিক শক্তির শতকরা কতভাগ জলকে উত্তপ্ত করিতে ব্যবহৃত হয়? (তাপের বাস্তবিক তুল্যাঙ্ক =  $4.2 \text{ joules/cal}$ )

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1973]  $[70\%]$

47. 120 watt মোটরের সাহায্যে একটি রেফ্রিজারেটর চালান হয়। মোটরটি দিনে 5 ঘণ্টা করিয়া কাজ করিলে 30 দিনের মাসে মোট খরচ কত হইবে? প্রতি বি. ও. টি. একক বৈদ্যুতিক শক্তির মূল্য 10 পরসা।  $[2.88 \text{ টাকা}]$

48. 50 ohms রোধ এবং 100 gm জলসমাবিশিষ্ট একটি বৈদ্যুতিক কেটলীকে 200 volts বিভব-বৈষম্যসম্পন্ন বর্তনীতে যুক্ত করা হইল। ঐ কেটলী 900 gm জলকে  $20^\circ\text{C}$  হইতে স্ফুটনাঙ্কে তুলিতে  $10\frac{1}{2}$  মিনিট সময় লয়। কেটলীতে উৎপন্ন তাপের কত অংশ অপচিত হয়? (তাপের বাস্তবিক তুল্যাঙ্ক =  $4.2 \times 10^7 \text{ erg/cal}$ )

[উৎপন্ন তাপের এক-তৃতীয়াংশ]

### অটিলতর গাণিতিক প্রশ্নাবলী

49. সীসা-নির্মিত একটি ফিউজ্-তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল  $0.2 \text{ mm}^2$ । বর্তনীতে সর্ট সার্কিট হইলে ফিউজ্-তারের প্রবাহের মান 30 অ্যাম্পিয়ারে পৌঁছায়। সর্ট-সার্কিট হইবার কতক্ষণ পর ফিউজ্-টি গলিতে আরম্ভ করিবে? সীসার আপেক্ষিক তাপ  $= 0.032 \text{ cal/(gm}^\circ\text{C)}$ , গলনাঙ্ক  $= 327^\circ\text{C}$ , ঘনত্ব  $= 11.34 \text{ gm/cm}^3$  এবং রোধাঙ্ক  $= 22 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}$ । তারটির প্রারম্ভিক উষ্ণতা  $20^\circ\text{C}$ । তাপ-শক্তির অপচয় উপেক্ষা কর।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1976] [0.095 sec]

50. কোন প্রেক্ষাগৃহে 40টি 60W বাতি, 61টি 200W বাতি, 8টি 40W বাতি এবং 20টি 1.5 অশ্বক্ষমতাসম্পন্ন বৈদ্যুতিক পাখা আছে। ন্যূনতম কত ক্ষমতার একটি ডায়নামো এই প্রেক্ষাগৃহে প্রয়োজনীয় বৈদ্যুতিক শক্তি সরবরাহ করিতে সক্ষম হইবে? 1 বি. ও. টি. একক বৈদ্যুতিক শক্তির দাম 25 পরসা হইলে এবং প্রতিদিন বৈদ্যুতিক সরঞ্জামগুলি 8 ঘণ্টা করিয়া চালাইলে এপ্রিল মাসে বিদ্যুতের জন্য মোট কত খরচ হইবে? (1 hp = 746W ধরিয়া লও)।

[জয়েন্ট এন্ট্রোল 1979] [50 hp, 2238 টাকা]

51. একটি ট্যাপ হইতে নিম্নত জলের উষ্ণতা  $22^\circ\text{C}$ । কোন একটি কাজে প্রতি মিনিটে এক লিটার হারে মানুষের দেহের স্বাভাবিক উষ্ণতাবিশিষ্ট ( $98.6^\circ\text{F}$ ) জল সরবরাহ প্রয়োজন। এই উদ্দেশ্যে জলের প্রবাহপথে ব্যবহৃত তাপন-কুণ্ডলীটি কী পরিমাণ ক্ষমতা ব্যয় করিবে? সরবরাহিত ভোল্টেজ 210 V হইলে তাড়ণ-প্রবাহের মান কত? বিকিরণ-জনিত তাপক্ষয় উপেক্ষা কর। [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1964] [1050W, 5A]

52. একটি বৈদ্যুতিক চুল্লী 250 V সরবরাহ লাইনে যুক্ত অবস্থায় 1 kW হারে শক্তি ব্যয় করে। ইহার তাপন-কুণ্ডলীর রোধের শতকরা পরিবর্তন কত হইলে 200V সরবরাহ লাইনে যুক্ত অবস্থায় ইহা 1 kW হারে শক্তি ব্যয় করিতে পারে। উষ্ণতার পরিবর্তনের ফলে তারের উপাদানের রোধাঙ্ক যদি 1.05 গুণ বৃদ্ধি পায় তাহা হইলে তাপন-কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্যের শতকরা পরিবর্তন কত হইলে রোধের উপরি-উক্ত পরিবর্তন ঘটিবে? তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল অপরিবর্তিত আছে ধরিয়া লও। [জয়েন্ট ম্যাট্রিকুলেশন (U. K.)] [36%, 39%]

53. একটি বৈদ্যুতিক কেটলীকে 220 V বিভব-বৈষম্যের বর্তনীর সহিত যুক্ত করিলে উহার মধ্য দিয়া 4 A তাড়ণ-প্রবাহ চলে। (i) কেটলীর তাপক তারটির রোধ নির্ণয় কর। (ii) পরিবহণ, বিকিরণ ইত্যাদিতে উৎপন্ন তাপের 40% অপচয় হয় ধরিয়া  $0^\circ\text{C}$  উষ্ণতার 1 kg বরফকে গলাইতে এবং ফুটাইয়া সম্পূর্ণভাবে বাষ্পায়িত করিতে কত সময় লাগিবে তাহা নির্ণয় কর। (iii) যদি 1 kilowatt-hour বৈদ্যুতিক শক্তির মূল্য 20 পরসা হয় তাহা হইলে ঐ সময়ের মধ্যে ব্যয়িত বৈদ্যুতিক শক্তির মূল্য কত হইবে? ধরিয়া লও যে,  $0^\circ\text{C}$  উষ্ণতার বরফের লীন তাপ  $80 \text{ cal/gm}$  এবং  $100^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় জলের বাষ্পীভবনের লীন তাপ  $540 \text{ cal/gm}$ । [জয়েন্ট এন্ট্রোল, 1975] [55, 1 ঘণ্টা 35 মি. 27 সেকেন্ড, 28 পরসা]

54. যখন  $27^\circ\text{C}$  উষ্ণতার বায়ুতে অবস্থিত কোন টাংস্ট্যান তারের মধ্য দিয়া 5A তাড়ণ-প্রবাহ পাঠান হয় তখন উহা  $57^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় আসিয়া স্থিরাবস্থা লাভ করে। তারের রোধ উহার পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক এবং তাপক্ষয়ের হার পারিপার্শ্বিকের সহিত উষ্ণতার

ব্যবধানের সমানুপাতিক হইলে তারটির মধ্য দিয়া কী মানের তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার উষ্ণতা  $387^{\circ}\text{C}$ -এ স্থির থাকিবে ? [কেন্দ্রীয় বিশ্ববিদ্যালয়] [12:25A]

55. 200 V মেইন-এর সহিত  $20\ \Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি হিটারের সাহায্যে একটি ঘরের উষ্ণতাকে  $20^{\circ}\text{C}$ -এ স্থির রাখা হইল। ঘরের সর্বত্র উষ্ণতা সমান।  $1\ \text{m}^3$  কৈটফল-বিশিষ্ট এবং  $0.2\ \text{cm}$  বেধবিশিষ্ট একটি কাচের জানালার মধ্য দিয়া তাপ বাহির হইতেছে। বাহিরের উষ্ণতা নির্ণয় কর। (কাচের তাপ-পরিবাহিতা  $= 0.2\ \text{cal m}^{-1}\text{C}^{-1}\text{s}^{-1}$  এবং তাপের বায়বিক তুল্যাক  $= 4.2\ \text{J/cal}$ ) [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1978]

56. বে-তামার তারের মধ্য দিয়া 5 A তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে উহা বে-স্থির উষ্ণতা লাভ করে নিম্নের উপাত্তগুলি হইতে উহার মান নির্ণয় কর :

পরিপার্শ্বের বায়ুর উষ্ণতা  $= 20^{\circ}\text{C}$  ; তারের ব্যাস  $= 1\ \text{mm}$  ; তারের পৃষ্ঠের বিকিরণাক  $= 2.2\ \text{cal m}^{-2}\text{K}^{-1}\text{s}^{-1}$  ; তামার রোধক  $= 1.8 \times 10^{-8}\ \text{ohm-metre}$  ; তামার রোধের উষ্ণতা-গুণাক  $= 0.0043\ \text{K}^{-1}$  ; তাপের বায়বিক তুল্যাক  $= 4.2\ \text{J/cal}$  । [ $41.55^{\circ}\text{C}$ ]



## তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া

*The deepest truths are the simplest and the most common.*

—F. W. Robertson.

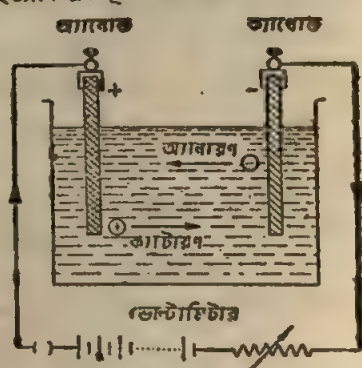
### 5.1 সূচনা

কোন ধাতব পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ চললে উহার কোনরূপ রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে না। কিন্তু কোন ক্ষারক (base), অম্ল (acid) বা লবণ (salt)-জাতীয় পদার্থের দ্রবণের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে দ্রাব পদার্থের অণুগুলি বিস্ফীর্ণ হয়। এই প্রক্রিয়াকে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া বলা হয়। ধাতু-নিষ্কাশন, ধাতু-শোধন, ইলেকট্রো-প্লেটিং ইত্যাদিতে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়ার ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখা যায়।

### 5.2 কয়েকটি প্রয়োজনীয় ধারণা (Some important concepts)

তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া সম্পর্কে সর্বপ্রথম সুশৃঙ্খল গবেষণা করেন বিজ্ঞানী মাইকেল ফারাডে। তাঁহার গবেষণা হইতেই অ্যানোড (anode), ক্যাথোড (cathode), অ্যানায়ন (anion) বা ঋণাত্মক আয়ন ইত্যাদি শব্দগুলি প্রচলিত হইয়াছে। তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়ার বিস্তারিত আলোচনায় প্রবেশ করিবার পূর্বে এই শব্দগুলির তাৎপর্য সম্বন্ধে ধারণা থাকা দরকার। নিম্নে প্রথমে আমরা এই শব্দগুলির তাৎপর্য ব্যাখ্যা করিব।

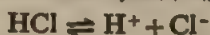
(i) আয়নায়ন ও আয়ন (Ionisation and ion) : বিজ্ঞানী অ্যারহেনিয়াসের মতানুসারে, কোন দ্রাবকে কোন ক্ষারক, লবণ, অম্ল ইত্যাদি দ্রবীভূত করিলে ঐ পদার্থের অণুগুলির কিসদংশ দুইটি তড়িদাহিত অংশে বিভক্ত হইয়া পড়ে। অ্যারহেনিয়াস এই প্রক্রিয়ার নাম দিয়া ছিলেন বিভাজন (dissociation), কিন্তু বর্তমান বিজ্ঞানীরা এই প্রক্রিয়াকে আয়নায়ন (ionisation) বলার পক্ষপাতী। দ্রাব পদার্থের তড়িৎশূন্য অণু যে-দুইটি তড়িদাহিত অংশে বিভক্ত হয় উহাদিগকে আয়ন (ion) বলা হয়। ইহাদের মধ্যে যে-অংশ ঋণাত্মক তড়িদাহিত তাহাকে ক্যাটায়ন (cation) বা ঋণাত্মক আয়ন বলা হয় এবং যে-অংশ ঋণাত্মক তড়িদাহিত তাহাকে অ্যানায়ন (anion) বা ঋণাত্মক আয়ন বলা হয় (চিত্র 5.1)।



চিত্র 5.1



উদাহরণস্বরূপ, জলীয় দ্রবণে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বিদ্যুৎ-হইয়া ধনাত্মক হাইড্রোজেন আয়ন ( $H^+$ ) এবং ঋণাত্মক ক্লোরিন আয়ন ( $Cl^-$ ) সৃষ্টি করে।



বিশ্লোজন উভমুখী প্রক্রিয়া বলিয়া এক্ষেত্রে সমতাচিহ্নের পরিবর্তে  $\rightleftharpoons$  চিহ্ন ব্যবহৃত হয়। তড়িৎ-বিশ্লোজনের আরও কয়েকটি দৃষ্টান্ত দেওয়া হইল :

তড়িৎ-বিশ্লেষ্য	ক্যাটায়ন	অ্যানায়ন
$NaCl \rightleftharpoons$	$Na^+$	$Cl^-$
$H_2SO_4 \rightleftharpoons$	$2H^+$	$SO_4^{--}$
$CuSO_4 \rightleftharpoons$	$Cu^{++}$	$SO_4^{--}$

(ii) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য (Electrolyte) : যে-সকল তরল বা দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে ঐ পদার্থের রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে উদ্ভাবনকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বলা হয়। তুতের ও সিলভার নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণ, লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণ ইত্যাদি উত্তম তড়িৎ-বিশ্লেষ্য। সকল তরল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য নয়। যে-সকল তরলের মধ্য দিয়া ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহিত হয় কেবলমাত্র উদ্ভাবনকেই তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বলা হয়। পারদ তরল হইলেও ইহা তড়িৎ-বিশ্লেষ্য নহে, কেননা ইলেকট্রনের প্রবাহের ফলেই ইহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হয়, মুক্ত আয়নের প্রবাহের ফলে নয়।

(iii) তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য (Non-electrolyte) : চিনি, গ্লিসারিন, কোহল ও অন্য বহু সংখ্যক জৈব যৌগের দ্রবণে আয়ন সৃষ্টি হয় না। ফলে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া উদ্ভাবনকে বিদ্যুৎ করা সম্ভব নয়। এই পদার্থগুলিকে তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য বলা হয়। অর্থাৎ, যে-সকল তরল বা দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার উপাদানের কোন রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে না উদ্ভাবনকে তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য বলা হয়।

(iv) তড়িৎ-বিশ্লেষণ (Electrolysis) : তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে দ্রাব পদার্থের অণুগুলি বিদ্যুৎ হইবার ফলে যে-রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটে তাহাকে দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষণ বলা হয়।

উল্লেখ করা হইয়াছে যে, দ্রবীভূত বা গলিত অবস্থায় তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ বিশ্লোজনের ফলে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক তড়িৎপ্রস্তু আয়ন সৃষ্টি করে। উপর্যুক্ত তড়িৎদ্বারের সাহায্যে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে বিশ্লোজনের ফলে উৎপন্ন আয়নগুলি বিপরীত তড়িৎধর্মী তড়িৎদ্বারের দিকে আকৃষ্ট হয় এবং সেখানে ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করিয়া নূতন পদার্থ উৎপন্ন করে। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের এইরূপ পরিবর্তনকে তড়িৎ-বিশ্লেষণ বলা হয়।

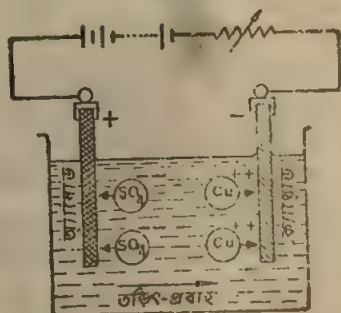
প্ল্যাটিনাম তড়িৎদ্বারের সাহায্যে গলিত সোডিয়াম ক্লোরাইডের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহা বিদ্যুৎ হইয়া সোডিয়াম এবং ক্লোরিন উৎপন্ন করে। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে সোডিয়াম ক্লোরাইড হইতে সোডিয়াম এবং ক্লোরিন উৎপাদন তড়িৎ-বিশ্লেষণের উদাহরণ।

(v) তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ বা ভোল্টামিটার (Electrolytic cell or volta-meter) : তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণকে যে-পায়ে রাখিয়া তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যে বিশ্লিষ্ট করা হয়, তাহাকে দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষক বা ভোল্টামিটার বলা হয়। ভোল্টামিটারে ব্যবহৃত তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণের নামানুসারে ভোল্টামিটারের নামকরণ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ, যে-ভোল্টামিটারে জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ ঘটান হয় তাহাকে জল-ভোল্টামিটার (water voltameter), যে-ভোল্টামিটারে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হিসাবে তামার লবণের দ্রবণ (যেমন, কপার সালফেট দ্রবণ) ব্যবহৃত হয় তাহাকে তামা-ভোল্টামিটার (copper voltameter) এবং যে-ভোল্টামিটারে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হিসাবে রূপার লবণের দ্রবণ (যেমন, সিলভার নাইট্রেট) ব্যবহৃত হয় তাহাকে রূপা-ভোল্টামিটার (silver voltameter) বলা হয়।

(vi) ক্যাথোড ও অ্যানোড (Cathode and anode) : যে-দুইটি পরিবাহীর মধ্য দিয়া দ্রবণে তড়িৎ-প্রবাহ প্রবেশ করে এবং বাহির হইয়া যায় উহাদিগকে তড়িদ্বার (electrodes) বলা হয়। যে-তড়িদ্বারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ ভোল্টামিটারের তরলে প্রবেশ করে তাহাকে অ্যানোড বা ধনাত্মক তড়িদ্বার বলা হয় এবং যে-তড়িদ্বার দিয়া ভোল্টামিটার হইতে তড়িৎ-প্রবাহ বাহির হইয়া আসে তাহাকে ক্যাথোড বা ঋণাত্মক তড়িদ্বার বলা হয় ( চিত্র 5.1 )।

### 5.3 তড়িৎ-বিশ্লেষণের কয়েকটি উদাহরণ

(i) তুঁতের দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষণ—একটি কার্টের পায়ে কিছু পরিমাণ জল লওয়া হইল। ঐ জলে কিছু পরিমাণ তুঁতে বা কপার সালফেট দ্রবীভূত করিলে ইহার কিছু সংখ্যক অণু বিয়োজিত হইয়া আয়ন সৃষ্টি করে। একটি তুঁতের অণুর বিয়োজনের ফলে দুইটি আয়ন গঠিত হয়—একটি ধনাত্মক তড়িদ্বাহিত তামার আয়ন ( $Cu^{++}$ ) এবং একটি ঋণাত্মক তড়িদ্বাহিত সালফেট আয়ন ( $SO_4^{--}$ )। ঐ কার্টের পায়ে বা ভোল্টামিটারের দ্রবণে দুইটি তামার পাত ডুবান থাকে। তুঁতের দ্রবণে সামান্য সালফিউরিক অ্যাসিড মিশাইয়া দেওয়া হয়। ইহার পর তামার পাত দুইটিকে একটি ব্যাটারীর মেবুর সহিত যুক্ত করা হয়।



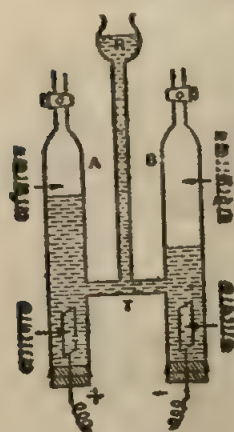
চিত্র 5.2

যে-পাতটিতে ব্যাটারীর ধনাত্মক মেবু-যুক্ত করা হয় তাহাকে অ্যানোড এবং যে-পাতটিতে ঋণাত্মক মেবু যুক্ত করা হয় তাহাকে ক্যাথোড বলা হয়। বর্তনী সংহত হইলে ধনাত্মক তামার আয়ন ক্যাথোডের দিকে এবং ঋণাত্মক সালফেট আয়ন অ্যানোডের দিকে প্রবাহিত হয় ( চিত্র 5.2 )।  $Cu^{++}$  আয়ন তামার অণুরূপে ক্যাথোডে জমা হইবে।  $SO_4^{--}$  আয়ন অ্যানোডের পাতের তামার সহিত বিক্রিয়া করিয়া  $CuSO_4$  অণু গঠন করিবে এবং দ্রবণে দ্রবীভূত হইয়া উহার ঘনত্ব বজায় রাখিবে। সুতরাং, তুঁতের দ্রবণের

মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবার ফলে অ্যানোড হইতে তামার অণু বাহির হইবে এবং ক্যাথোডে তামার অণু জমা হইবে। ইহাতে অ্যানোডের ওজন বাড়িবে এবং ক্যাথোডের ওজন কমিবে।

তড়িদ্বার দুইটি তামার না হইয়া অন্য কোন পরিবাহীর দ্বারা গঠিত হইলে ক্যাথোডে পূর্বের ন্যায় তামার অণু জমা হইবে বটে, কিন্তু  $\text{SO}_4^{--}$  আয়ন জলের অণুর সহিত বিক্রিয়া করিয়া  $\text{H}_2\text{SO}_4$  অ্যাসিড উৎপন্ন করিবে এবং অক্সিজেন গ্যাস মুক্ত করিবে। ইহাতে ক্রমশঃ দ্রবণের ঘনত্ব কমিতে থাকিবে।

(ii) জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ : অব্যাপক হক্‌ম্যান জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ করিবার জন্য যে-যন্ত্রটির উদ্ভাবন করেন নিজে তাহার বর্ণনা দেওয়া হইল। এই যন্ত্রে



চিত্র 5.3

আয়তনের দাগ কাটা প্যাচকলবৃত্ত দুইটি কচের নল (A, B) আছে (চিত্র 5.3)। নল দুইটি উল্লম্বভাবে বসান থাকে। উহাদের নিচের দিকে খোলা মুখে ছিপি বৃত্ত থাকে। ছিপির মধ্য দিয়ে নল দুইটির মধ্যে প্র্যাটিনামের দুইটি তড়িদ্বার প্রবেশ করান থাকে। A এবং B নল নিচের দিকে অপর একটি অনুভূমিক নল T-এর সহিত যুক্ত। অনুভূমিক এই নলের সহিত আবার একটি উল্লম্ব নল যুক্ত থাকে। ঐ নলের শীর্ষে একটি জলাধার C লাগান থাকে।

প্রথমে A ও B নলের প্যাচকল দুইটি খুলিয়া রাখিয়া বতকণ পর্যন্ত উহারা পূর্ণ না হয় ততকণ পর্যন্ত R জলাধারে সামান্য সালফিউরিক অ্যাসিডমিশ্রিত জল ঢালা হইল। ইহার পর প্যাচকল দুইটি বন্ধ করিয়া দেওয়া হইল।

প্র্যাটিনামের তড়িদ্বার দুইটিকে একটি ব্যাটারীর দুই বন্ধনীর সহিত যুক্ত করিয়া অ্যাসিড-মিশ্রিত জলের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। দেখা যাইবে যে, A এবং B নলের তড়িদ্বার হইতে বুদবুদের আকারে গ্যাস উৎপন্ন হইতেছে এবং জল অপসারিত করিয়া গ্যাস নলের উপর জমা হইতেছে। নল দুইটিতে একই পরিমাণ গ্যাস জমা হয় না। অ্যানোডে যে-আয়তনের গ্যাস উৎপন্ন হয় ক্যাথোডে উহার দ্বিগুণ আয়তনের গ্যাস উৎপন্ন হয়। রাসায়নিক পরীক্ষার সাহায্যে দেখান যায় যে, ক্যাথোডে যে-গ্যাস জমা হয় তাহা হাইড্রোজেন এবং অ্যানোডে যে-গ্যাস জমা হয় তাহা অক্সিজেন।

জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ হইতে আমরা এই সিদ্ধান্তে আসিতে পারি যে, আয়তনের হিসাবে একভাগ অক্সিজেন ও দুই ভাগ হাইড্রোজেন যুক্ত হইয়া জল উৎপন্ন করে।

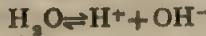
জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণের ব্যাখ্যা :

বিশুদ্ধ জলের খুব অল্প অণুই বিয়োজিত হইয়া  $\text{H}^+$  আয়ন ( ক্যাটায়ন ) এবং  $\text{OH}^-$  ( অ্যানায়ন ) গঠন করে। এইরূপ বিশুদ্ধ জল খুবই দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য এবং বিদ্যুতের কুপরিবাহী। জলে সামান্য পরিমাণ লবু সালফিউরিক অ্যাসিড মিশাইলে জলের তড়িৎ-পরিবাহিতা বাড়ে। প্র্যাটিনাম তড়িদ্বারের সাহায্যে অ্যাসিড মিশ্রিত জলের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে  $\text{H}^+$  আয়ন ক্যাথোডের দিকে এবং  $\text{OH}^-$  আয়ন অ্যানোডের



দিকে আকৃষ্ট হয়।  $H^+$  আয়ন ক্যাথোড হইতে ইলেকট্রন গ্রহণ করিয়া প্রথমে তড়িৎ-নিরপেক্ষ  $H$  পরমাণুতে পরিণত হয়। পরে এইরূপ দুইটি তড়িৎ-নিরপেক্ষ হাইড্রোজেন পরমাণুর মিলনে হাইড্রোজেন অণু গঠিত হয়।  $OH^-$  আয়ন অ্যানোডে ইলেকট্রন বর্জন করিয়া প্রথমে তড়িৎ-নিরপেক্ষ  $OH^-$  মূলকে পরিণত হয়। ইহার পর এইরূপ চারিটি মূলকের মিলনে জল এবং অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।

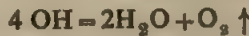
জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ প্রক্রিয়াকে সংক্ষেপে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় :



ক্যাথোড :  $H^+ + e = H$  ( $e =$  ইলেকট্রন )



অ্যানোডে :  $OH^- - e = OH$



● জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ কাজে লাগাইয়া একমুখী তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ-লাইনের ধনাত্মক মেরু এবং ঋণাত্মক মেরু সনাক্ত করা যায়। একটি পায়ে কিছু পরিমাণ অবিশুদ্ধ ( সামান্য লবণ বা অজৈব অ্যাসিড মিশ্রিত ) জল লইয়া সমমুখী প্রবাহ সরবরাহ ( D. C. supply ) লাইনের দুই মেরুতে যুক্ত দুই তারের মূক্ত প্রান্ত ঐ জলে ডুবাইয়া পাশাপাশি রাখা হইল। দেখা যাইবে যে, দুইটি তারের গা বাহিয়া বৃদ্ধবৃদ্ধের আকারে গ্যাস নির্গত হইতেছে। ইহাও লক্ষ্য করা যাইবে যে, একটি তারের তুলনায় অন্য তারে বেশি পরিমাণ গ্যাস নির্গত হইতেছে। তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে জল হাইড্রোজেন গ্যাস এবং অক্সিজেন গ্যাসে বিভক্ত হইয়া যায় এবং উৎপন্ন হাইড্রোজেন আয়ন ক্যাথোডের ( ঋণাত্মক মেরুর ) দিকে এবং ঋণাত্মক  $OH^-$  আয়নগুলি অ্যানোডের ( ধনাত্মক মেরুর ) দিকে যায়। পরে এই আয়নগুলি নিস্তড়িৎ হইয়া গ্যাসের বৃদ্ধবৃদ্ধের আকারে ঐ দুই তারের গা বাহিয়া নির্গত হইতে থাকে। আমরা জানি যে, জলের বিশ্লেষণে যে-আয়তন অক্সিজেন উৎপন্ন হয় তাহার ষিগুণ আয়তন হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। কাজেই, যে-তারের গা বাহিয়া অপেক্ষাকৃত বেশি পরিমাণ গ্যাস নির্গত হইতে দেখা যায় সেই তারে হাইড্রোজেন আয়ন সঞ্চিত হইতেছে এইরূপ বলা যায়। সুতরাং সন্দেহে আসা যাইবে যে, এই তারটির সহিত যুক্ত মেরুই সরবরাহ লাইনের ঋণাত্মক মেরু এবং অন্যটি ধনাত্মক মেরু।

#### 5.4 ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণ সংক্রান্ত সূত্রাবলী (Faraday's laws of electrolysis)

একথা বলা হইয়াছে যে, বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডেই প্রথম সুশৃঙ্খলভাবে তড়িৎ-বিশ্লেষণ-সংক্রান্ত গবেষণা করেন। তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদার্থের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িদ্রাব্যের সহিত তড়িদ্রাব্যের মূক্ত ধাতু বা অন্যান্য পদার্থের ভরের সম্পর্ক কী—ফ্যারাডে তাহা আবিষ্কার করেন। তিনি তাহার গবেষণালব্ধ ফলগুলিকে দুইটি সূত্রের আকারে প্রকাশ করিয়াছেন। ইহাদিগকে ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণ সংক্রান্ত সূত্র বলা হয়। নিম্নে ইহাদের বিবৃত করা হইল।

প্রথম সূত্র : তড়িৎ-বিশ্লেষণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে তড়িদ্রাব্যের মূক্ত আয়নের ভর প্রবাহিত তড়িদ্রাব্যের পরিমাণের সমানুপাতিক।



**দ্বিতীয় সূত্র :** বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষের মধ্য দিয়া সম-পরিমাণ তড়িদাধান প্রবাহিত হইলে বিভিন্ন তড়িদ্বারে মুক্ত আগ্রের ভর উৎপন্নর রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক হয়। কোন মোলের যে-ভর রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ৪ গ্রাম অক্সিজেনের সহিত মিলিত হয় বা ৪ গ্রাম অক্সিজেনকে প্রতিস্থাপিত করে তাহাকে ঐ মোলের তুল্যাঙ্ক বলা হয়।

**প্রথম সূত্রের আলোচনা :** ধরি, তড়িৎ-বিশ্লেষের মধ্য দিয়া  $t$  সেকেন্ডে ধরিয়া  $c$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলিয়াছে এবং ইহাতে কোন তড়িদ্বারে  $W$  gm আগ্র মুক্ত হইয়াছে। এক্ষেত্রে প্রবাহিত তড়িদাধানের পরিমাণ,  $Q = \text{তড়িৎ-প্রবাহ} \times \text{সময়} = ct$  কুলম্ব। ফ্যারাডের প্রথম সূত্রানুসারে,

$$W \propto ct \text{ বা, } W = Zct \quad \dots (5.1)$$

এখানে  $Z$  একটি ধ্রুবক। ইহার মান তড়িৎ-বিশ্লেষের উপাদানের উপর নির্ভর করে। ইহাকে তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (electro-chemical equivalent of or E. C. E.) বলা হয়। সমীকরণ (5.1) হইতে দেখা যাইতেছে যে,  $c=1$  অ্যাম্পিয়ার এবং  $t=1$  সেকেন্ড হইলে,  $W = Z.1.1$  বা,  $W=Z$  হইবে।

সুতরাং, কোন পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায় :

1 সেকেন্ড সময় ধরিয়া 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবার ফলে বা 1 কুলম্ব তড়িদাধানের প্রবাহের ফলে তড়িদ্বারে কোন মোলের যে-পরিমাণ ভর (গ্রামে প্রকাশিত) জমা হয় তাহাকে ঐ মোলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলা হয়।

“রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.001118 গ্রাম/কুলম্ব”—এ উক্তির তাৎপর্য এই যে, রূপা-ঘটিত যে-কোন লবণের দ্রবণের মধ্য দিয়া 1 কুলম্ব তড়িদাধান পাঠাইলে ক্যাথোডে 0.001118 গ্রাম রূপা মুক্ত হইবে।

**দ্বিতীয় সূত্রের আলোচনা :** উল্লেখ করা হইয়াছে যে, রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কোন মোলের যে-ভর ৪ গ্রাম অক্সিজেনের সহিত মিলিত হয় বা ৪ গ্রাম অক্সিজেন প্রতিস্থাপিত করে তাহাকে ঐ মোলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলা হয়। নিম্নে ইহার একটি বিকল্প সংজ্ঞা দেওয়া হইল :

কোন মোলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলিতে ঐ মোলের পারমাণবিক ওজন ও যোজ্যতার অনুপাত বুঝায়। অর্থাৎ,

$$\text{রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক, (E)} = \frac{\text{পারমাণবিক ওজন (A)}}{\text{যোজ্যতা (v)}} \quad \dots (5.2)$$

ধরা যাক, অ্যাসিডমিশ্রিত জল, তুঁতের দ্রবণ এবং সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের মধ্য দিয়া একই সময় ধরিয়া একই পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে ভোল্টামিটারগুলির ক্যাথোডে যথাক্রমে হাইড্রোজেন, তামা এবং রূপা মুক্ত হইবে। ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে, কোন নির্দিষ্ট তড়িদাধান প্রবাহিত হইবার ফলে মুক্ত হাইড্রোজেনের ভর 1 গ্রাম হইলে ঐ তড়িদাধানের প্রবাহে  $\frac{63.5}{2}$  গ্রাম তামা এবং  $\frac{108}{1}$  গ্রাম রূপা মুক্ত হইবে।

● তড়িৎ-বিশ্লেষণের ভিত্তিতে অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা : তড়িৎ-বিশ্লেষণের ভিত্তিতে তড়িৎ-প্রবাহের ব্যবহারিক একক অ্যাম্পিয়ারের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায়—

যে-দ্বন্দ্বের তড়িৎ-প্রবাহমাত্রা সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইয়া প্রতি সেকেন্ডে ক্যাথোডে 0.001118 gms রূপা জমা করে উহাকে এক অ্যাম্পিয়ার বলা হয়।

তড়িৎ-প্রবাহের এই একককে পূর্বে আন্তর্জাতিক অ্যাম্পিয়ার (international ampere) বলা হইত। বর্তমানে এই এককের বিশেষ প্রচলন নাই। পরবর্তী পরিচ্ছেদে তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়ার ভিত্তিতে 'অ্যাম্পিয়ার'-এর নূতন সংজ্ঞা দেওয়া হইবে।

### 5.5 তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সম্পর্ক

একটি ভোল্টামিটারে A-মৌল ঘটিত লবণের দ্রবণ এবং অপর একটি ভোল্টামিটারে B-মৌল-ঘটিত লবণের দ্রবণ লওয়া হইল। ইহাদের উভয়ের মধ্য দিয়া একই সময় (t) ধরিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ (c) পাঠান হইল। মনে করি, ইহাতে ক্যাথোডে সঞ্চিত A-মৌল ও B-মৌলের ভর যথাক্রমে  $W_A$  এবং  $W_B$ । ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে,

$$\frac{W_A}{W_B} = \frac{\text{A-মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক } (E_A)}{\text{B-মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক } (E_B)} \quad \dots (i)$$

আবার, A এবং B-মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে  $Z_A$  এবং  $Z_B$  হইলে,

$$\left. \begin{aligned} W_A &= Z_A \cdot c \cdot t \\ W_B &= Z_B \cdot c \cdot t \end{aligned} \right\} \quad \dots (ii)$$

$$\text{সমীকরণ (ii) হইতে পাই,} \quad \frac{W_A}{W_B} = \frac{Z_A}{Z_B} \quad \dots (iii)$$

সুতরাং, (i) ও (iii) নং সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\frac{\text{A-মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক } (Z_A)}{\text{B-মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক } (Z_B)} = \frac{\text{A-মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক } (E_A)}{\text{B-মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক } (E_B)} \quad \dots (iv)$$

অর্থাৎ, দুইটি মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের অনুপাত উহাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের অনুপাতের সমান।

$$\text{সমীকরণ (iv) হইতে লেখা যায়,} \quad Z_A = \frac{E_A}{E_B} \times Z_B \quad \dots (5.3)$$

আমরা জানি যে, হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 1।

$$\therefore Z_A = \frac{E_A}{1} \times Z_H, \quad Z_H = \text{হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।}$$

অতএব সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, কোন মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (Z)

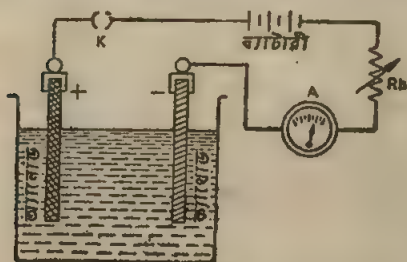
$$= \text{ঐ মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক } (E) \times \text{হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক } (Z_H) \quad \dots (5.4)$$

নিম্নের তালিকায় কয়েকটি মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মান দেওয়া হইয়াছে।

মৌল	পারমাণবিক ওজন	যোজ্যতা	তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (gm/C)
হাইড্রোজেন	1.008	1	0.00001046
অক্সিজেন	16.000	2	0.00008291
ক্লোরিন	35.457	1	0.0003675
বৃশা	107.88	1	0.0011180
তামা	63.57	2	0.0003294
অ্যালুমিনিয়াম	27.1	3	0.00009355
লোহা	55.8	2	0.0002894
দস্তা	65.4	2	0.0003387

## 5.6 ক্যাথোডের সূত্রাংশলীর পরীক্ষাভিত্তিক প্রমাণ

প্রথম সূত্রের প্রমাণ : একটি কাচের পাথ্রে কিছু পরিমাণ কপার সালফেট দ্রবণ লওয়া হইল। ইহাতে তড়িদ্বার রূপে দুইটি তামার পাত ব্যবহৃত হয়। প্রথমে তামার ক্যাথোডটিকে ভালভাবে পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া তুল্যস্তরের সাহায্যে উহার ভর মাপা হইল। একটি ব্যাটারী, একটি পরিবর্তনীয় রোধ বা রিওস্ট্যাট (Rh), একটি টেপা চাবি (K) এবং একটি অ্যামিটার (A)-কে ভোল্টামিটারটির শ্রেণী-সমবাসে যুক্ত করা হইল (চিত্র 5.4)।



চিত্র 5.4

খুলিয়া তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ করিয়া ক্যাথোডটিকে দ্রবণ হইতে তুলিয়া লইয়া পুনরায় ভালভাবে ধুইয়া শুষ্ক করা হইল। ইহার পর তুল্যস্তরের সাহায্যে পুনরায় ক্যাথোডের ভর মাপা হইল। ক্যাথোডের অভিন্ন ভর হইতে প্রাথমিক ভর বাদ দিলে ক্যাথোডে সঞ্চিত তামার ভর পাওয়া যাইবে। মনে করি, বর্তনীতে সময় ধরিয়া  $c_1$  অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ পাঠান হইয়াছে এবং ক্যাথোডে যে-পরিমাণ তামা জমা হইয়াছে তাহার ভর  $W_1$  গ্রাম। পরিবর্তনীয় রোধ Rh-এর মান বদলাইয়া বর্তনীর প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন করা হইল। ক্যাথোডকে পুনরায় ভোল্টামিটারে রাখিয়া বর্তনীতে কিছুক্ষণ ঐ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া কী পরিমাণ তামা জমা হয় তাহা দেখা হইল। মনে করি, এইবার  $i_2$  সেকেন্ড সময় ধরিয়া  $c_2$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইয়াছে এবং ইহাতে ক্যাথোডে তামা জমিয়াছে  $W_2$  গ্রাম।

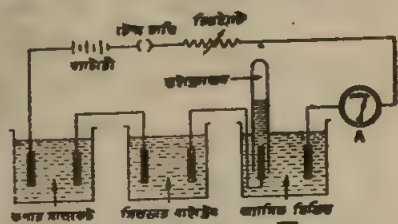
প্রথম ক্ষেত্রে, ক্যাথোডে সঞ্চিত তামার পরিমাণ =  $W_1$  গ্রাম এবং প্রবাহিত তড়িৎদ্রাশ্য =  $c_1 t_1 = Q_1$  কুলম্ব ( ধরি ) ।

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, ক্যাথোডে সঞ্চিত তামার পরিমাণ =  $W_2$  গ্রাম এবং প্রবাহিত তড়িৎদ্রাশ্যের পরিমাণ =  $c_2 t_2 = Q_2$  কুলম্ব ( ধরি ) ।

পরীক্ষা করিয়া দেখা যাইবে যে,  $\frac{W_1}{W_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$  অর্থাৎ  $W \propto Q$

ইহাই ফ্যারাডের প্রথম সূত্রের পরীক্ষাভিত্তিক প্রমাণ ।

দ্বিতীয় সূত্রের প্রমাণ : তিনটি কাচের পাত লইয়া উহাদের একটিতে কপার সালফেট দ্রবণ, একটিতে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ এবং অপরিষ্কৃত অ্যাসিডমিশ্রিত জল লওয়া হইল। কপার সালফেট দ্রবণে দুইটি তামার পাত, সিলভার নাইট্রেট দ্রবণে দুইটি বৃপার পাত এবং অ্যাসিডযুক্ত জলে দুইটি প্লাটিনাম পাত ডুবান থাকে ( চিত্র 5.5 ) । ইহারা ভোল্টামিটারের তড়িৎদ্বার রূপে ক্রিয়া করে ।



চিত্র 5.5

এই তিনটি ভোল্টামিটার, ক্যাটার্জ, অ্যামিটার, পরিবর্তনীয় রোধ বা রিওস্ট্যাট এবং চারি প্রেরণী-সমবাহ্যে যুক্ত করা হয় ।

ভোল্টামিটারগুলি প্রেরণী-সমবাহ্যে যুক্ত বলিয়া টোপা চাৰি বন্ধ করিয়া বর্তনী সংহত করিলে উহাদের মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে । তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ভোল্টামিটার-গুলির ক্যাথোডে যথাক্রমে তামা, বৃপা ও হাইড্রোজেন জমা হইবে । হাইড্রোজেন সংগ্রহ করিবার জন্য জল-ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে একটি জলপূর্ণ গ্যাসজার উপস্থাপন করিয়া কান থাকে ।

তামার ও বৃপার ক্যাথোড-পাত দুইটিকে প্রথমে পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া তুলাবস্তুর সাহায্যে ইহাদের ভর মাপা হইল । নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া একটি নির্দিষ্ট প্রবাহমাত্রা পাঠাইবার পর তামার ক্যাথোড এবং বৃপার ক্যাথোডটিকে ভোল্টামিটার হইতে তুলিয়া জলে ধুইয়া পরিষ্কার ও শুষ্ক করা হইল । ইহার পর তুলাবস্তুর সাহায্যে পুনরায় ইহাদের ভর মাপা হইল । পাত দুইটির আন্তর ভর হইতে উহাদের প্রাথমিক ভর বাহ দিলে বৃপার পাতে সঞ্চিত বৃপা এবং তামার পাতে সঞ্চিত তামার পরিমাণ জানা যাইবে । একই তড়িৎ-প্রবাহের ফলে একই সময়ে জল-ভোল্টামিটার (water voltameter)-এর ক্যাথোডে কী পরিমাণ হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হইল তাহা সংগৃহীত গ্যাস ওজন করিয়া নির্ণীত হয় না । গ্যাসের আয়তন, উষ্ণতা ও চাপ জানা থাকিলে প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় ইহার আয়তন কত হইবে তাহা নির্ণয় করা যায় । এই আয়তনকে প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় হাইড্রোজেনের ঘনত্ব দ্বারা গুণ করিলে সঞ্চিত হাইড্রোজেনের ভর পাওয়া যাইবে । মনে করি, একটি নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া নির্দিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবার ফলে ক্যাথোডে সঞ্চিত তামা, বৃপা ও হাইড্রোজেনের ভর যথাক্রমে  $W_1$  গ্রাম,  $W_2$  গ্রাম এবং



$W_2$  গ্রাম। তামা, বৃশা ও হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে  $E_1$ ,  $E_2$  এবং  $E_3$  হইলে পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যাইবে যে,

$$\frac{W_1}{E_1} = \frac{W_2}{E_2} = \frac{W_3}{E_3} = \text{ধ্রুবক}$$

অর্থাৎ,  $W \propto E$ ; ইহাই ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রের পরীক্ষাভিত্তিক প্রমাণ।

### 5.7 ফ্যারাডে (Faraday)

কোন মৌলের পারমাণবিক ভর  $A$  এবং যোজ্যতা  $v$  হইলে উহার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক,  $E = A/v$

ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র হইতে পাই,  $W \propto \frac{A}{v}$  ( $Q$  স্থির থাকিলে) ... (i)

আবার, ফ্যারাডের প্রথম সূত্র হইতে লেখা যায়,

$$W \propto Q \text{ (A এবং } v \text{ স্থির থাকিলে)} \quad \dots \quad (ii)$$

সমীকরণ (i) ও (ii) হইতে পাই,

$$W \propto \frac{A}{v} \cdot Q \text{ (যখন A, } v \text{ এবং Q প্রত্যেকের চলরাশি)}$$

$$\text{বা, } W = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{v} \cdot Q \quad \dots \quad (iii)$$

এখানে  $F$  একটি ধ্রুবক। (iii) হইতে দেখা যাইতেছে যে,  $W = (A/v) \text{ gm}$  হইলে  $F = Q$  হইবে।

সুতরাং,  $F$  হইল সেই পরিমাণ ভাঁড়দ্রাব্য যাহা কোন মৌলের এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক পরিমাণ ভর মুক্ত করে। ইহাকে ফ্যারাডে বলা হয়।

$$\text{ফ্যারাডের মান : আমরা জানি, } F = \frac{A}{v} \cdot \frac{Q}{W}$$

$$\text{আবার, } W = ZQ \text{ বলিয়া লেখা যায়, } F = \frac{A}{v} \cdot \frac{1}{Z} \quad \dots \quad (5.5)$$

বৃশার ক্ষেত্রে পারমাণবিক ভর,  $A$  এবং  $Z$ -এর মান অতি সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করা হইয়াছে। বৃশার পারমাণবিক ভর,  $A = 107.88$

বৃশার ভাঁড়-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক,  $Z = 0.001118$  গ্রাম/কুলম্ব

$$\text{সুতরাং, } F = \frac{107.88}{0.001118} \text{ কুলম্ব} = 96496 \text{ কুলম্ব}$$

$$\text{অর্থাৎ, } 1 \text{ ফ্যারাডে} = 96496 \text{ কুলম্ব} \quad \dots \quad (5.5)$$

গাণিতিক সুবিধার জন্য অনেক ক্ষেত্রে 1 ফ্যারাডে ভাঁড়দ্রাব্যকে 96500 কুলম্ব ভাঁড়দ্রাব্যের সমান ধরিয়া লওয়া হয়।

### 5.8 ভাঁড়-বিশ্লেষণের সাহায্যে ভাঁড়-প্রবাহের মান নির্ণয়

ভাঁড়-বিশ্লেষণের সাহায্যে কোন বর্তনীর ভাঁড়-প্রবাহ নির্ণয় করা যায়। একটি তামা-ভোল্টামিটার (copper voltameter) লইয়া ইহার ক্যাথোড-পার্শ্বটিকে ভালভাবে

পরিষ্কার ও শুষ্ক করা হইল। ইহার পর একটি তুলাযন্ত্রের সাহায্যে উহার ভর মাপা হইল। ইহার পর যে-বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ মাপিতে হইবে উহার দুই প্রান্ত তামা-ভোল্টামিটারটির দুই তড়িদ্বারের সহিত যুক্ত হইল। লক্ষ্য রাখা প্রয়োজন যেন বর্তনীর ঋণাত্মক প্রান্ত ভোল্টামিটারের ক্যাথোড-পাতের সহিত যুক্ত হয়। একটি নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া বর্তনীর দ্বারা দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। স্টপ-ওয়ারের সাহায্যে ঐ সময় মাপিয়া লওয়া হইল। তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ করিয়া ভোল্টামিটার হইতে ক্যাথোড-পাতটি তুলিয়া পুনরায় ইহাকে যুইয়া পরিষ্কার ও শুষ্ক করা হইল। ইহার পর তুলাযন্ত্রের সাহায্যে ইহার ভর মাপা হইল। ক্যাথোড-পাতের অস্তিত্ব ভর হইতে উহার প্রাথমিক ভর বাদ দিলে ক্যাথোডে সঞ্চিত তামার পরিমাণ জানা যাইবে। মনে করি, সঞ্চিত তামার ভর =  $W$  গ্রাম।

ফ্যারাডের সূত্র হইতে আমরা জানি যে,

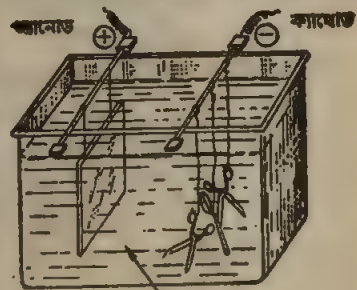
$$W = Zct \therefore c = \frac{W}{Zt}$$

$W$  এবং  $t$  মাপা হইয়াছে। সুতরাং, তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক জানা থাকিলে তড়িৎ-প্রবাহ  $c$ -এর মান নির্ণয় করা যায়।

## 5.9 তড়িৎ-বিভ্রাণের ব্যবহারিক প্রয়োগ

তড়িৎ-বিভ্রাণের নানাবিধ ব্যবহারিক প্রয়োগ রহিয়াছে। নিম্নে ইহাদের কয়েকটির উল্লেখ করা হইল।

(i) ইলেকট্রোপ্লেটিং বা তড়িৎ-প্রলেপন (Electroplating) : লোহা, তামা, টিন ইত্যাদি ধাতুর দ্বারা নির্মিত ছুরি, চামচ, বাসনপত্র, নানা যন্ত্রাংশ, গহনা ইত্যাদির উপর সোনা, রূপা, নিকেল, ক্রোমিয়াম, দস্তা ইত্যাদির প্রলেপ দেওয়া হয়। এইরূপ প্রলেপ লোহাকে মরিচা ধরা হইতে রক্ষা করে। প্রলেপ দিলে এসব পদার্থ বায়ুর সংস্পর্শে আসে না, কাজেই উহা জারিত (oxidised) হইবার ফলে ক্ষান হইয়া যায় না। এইরূপ প্রলেপযুক্ত যন্ত্র, জিনিসপত্র যতদিন চক্চকে থাকে। যে-ধাতুর প্রলেপ দিতে হইবে ভোল্টামিটারে সেই ধাতু-ঘটিত একটি বোঁগের ব্যবস্থা লওয়া হয় এবং সেই ধাতুনির্মিত একটি অ্যানোড



তড়িৎ-বিভ্রাণ

চিত্র 5.6

ব্যবহার করিতে হয়। যে-কল্পে প্রলেপ দিতে হইবে তাহাকে ক্যাথোডরূপে ব্যবহার করা হয় (চিত্র 5.6)। তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ধাতব অ্যানোড ক্ষয় পাইতে থাকে এবং ক্যাথোডরূপে ব্যবহৃত দ্রব্যাদির উপর ঐ ধাতুর প্রলেপ পড়ে। লোহাকে মরিচা ধরা হইতে রক্ষা করিবার জন্য সাধারণত উহার উপর দস্তার প্রলেপ দেওয়া হয়। দস্তার প্রলেপ দেওয়ার এই প্রক্রিয়াকে ‘গ্যালভানাইজিং’ বলা হয়। পিতলের উপর সোনার প্রলেপ দেওয়াকে ‘গিল্ডিং করা’ (gilding) বলে।

উপরের আলোচনা হইতে বুঝা যাইতেছে যে, যে-ধাতুর প্রলেপ দিতে হইবে আনোডটি সেই ধাতুর তৈয়ারী হইতে হইবে এবং তড়িৎ-বিপ্লবী পদার্থ হিসাবে ঐ ধাতুর উপযুক্ত একটি লবণ লইতে হইবে।

**তামার প্রলেপ :** যে-দ্রবের উপর তামার প্রলেপ দিতে হইবে সেই দ্রবকে ক্যাথোড রূপে ব্যবহার করিতে হইবে এবং একটি বিশুদ্ধ তামার পাতকে ব্যবহার করিতে হইবে আনোডরূপে। এক্ষেত্রে তড়িৎ-বিপ্লবী হিসাবে কপার সালফেটের জলীয় দ্রবণ ব্যবহার করা হয়।

**টিনের প্রলেপ :** টিনের প্রলেপ দিবার সময় বিশুদ্ধ টিনের তৈয়ারী একটি পাতকে আনোড হিসাবে ব্যবহার করা হয় এবং তড়িৎ-বিপ্লবী হিসাবে ব্যবহার করা হয় স্ট্যানাস ক্রোরাইড দ্রবণ।

**সোনার প্রলেপ :** সোনার প্রলেপ দিবার সময় বিশুদ্ধ সোনার তৈয়ারী পাতকে আনোডরূপে এবং পটাশিয়াম অরোসায়ানাইড দ্রবণকে তড়িৎ-বিপ্লবীরূপে ব্যবহার করা হয়।

**নিকেলের প্রলেপ :** নিকেলের প্রলেপ দিবার সময় বিশুদ্ধ নিকেলের পাতকে আনোডরূপে এবং নিকেল সালফেট দ্রবণকে (কিছুটা বোরিক অ্যাসিডসহ) তড়িৎ-বিপ্লবীরূপে ব্যবহার করা হয়।

**রূপার প্রলেপ :** রূপার প্রলেপ দিতে হইলে বিশুদ্ধ রূপার পাতকে আনোড হিসাবে এবং সিলভার নাইট্রেটের দ্রবণকে (কিছুটা পটাশিয়াম সায়ানাইডসহ) তড়িৎ-বিপ্লবী হিসাবে ব্যবহার করিতে হইবে।

(iii) ইলেকট্রোটাইপিং বা তড়িৎ-মুদ্রণ (Electrotyping) : ইলেকট্রোটাইপিং বা তড়িৎ-মুদ্রণ পূর্ব-বাণিত ইলেকট্রোপ্লেটিং প্রক্রিয়ারই একটি বিশেষ রূপ। তড়িৎ-বিপ্লবনের সাহায্যে ছাপার হরফের প্রতিলিপি তৈয়ারী করাকেই ইলেকট্রোটাইপিং বলা হয়। যে-লেখার ইলেকট্রোটাইপিং করিতে হইবে তাহাকে প্রথমে সাধারণ হরফে 'কম্পোজ' (compose) করা হয়। ইহার পর নরম মোমের উপর উহার একটি ছাঁচ তুলিয়া লওয়া হয়। পরে ঐ মোমের ছাঁচের উপর গ্রাফাইটের গুঁড়া ছড়াইয়া উহাকে তড়িৎ-পরিবাহী করা হয়। এইবার গ্রাফাইট-ছড়ান মোমের ছাঁচটিকে একটি ভোল্টামিটারের ক্যাথোড-রূপে ব্যবহার করা হয়। ভোল্টামিটারের তড়িৎ-বিপ্লবী হিসাবে লওয়া হয় ( $\text{CuSO}_4$ )-দ্রবণ এবং আনোড-রূপে ব্যবহৃত হয় একটি তামার পাত। দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে তামার আনোড ক্ষয়প্রাপ্ত হইতে থাকে এবং মোমের ছাঁচের উপর তামার প্রলেপ পড়ে, ফলে একটি তামার ছাঁচ তৈয়ারী হয়। উপযুক্ত পরিমাণ তামা জমা হইলে উহাকে বাহির করিয়া আনা হয়। এই ধাতব ছাঁচটি সুদৃঢ় বলিয়া উহা ব্যবহার করিয়া বহুসংখ্যক কপি ছাপান যায়। গ্রামোফোন রেকর্ড, মুদ্রা ইত্যাদির ছাঁচ তৈয়ারীতেও এই পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়।

(iii) ধাতু নিষ্কাশন ও শোধন (Extraction and purification of metals) : আকরিক হইতে ধাতু-নিষ্কাশনের কাজে এবং নিষ্কাশিত ধাতু শোধনে তড়িৎ-প্রক্রিয়ার ব্যবহার বিপ্লবণ বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। অ্যালুমিনিয়াম, সোডিয়াম, পটাশিয়াম ইত্যাদি ধাতু নিষ্কাশনে তড়িৎ-বিপ্লবণ পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। ক্রিস্টল সোডা, ক্রিস্টল

পটাস ইত্যাদি প্রকৃতিতেও এই পদ্ধতির ব্যবহার আছে। আকরিক হইতে তামা, দস্তা-অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি ধাতু নিষ্কাশনের পর ইহাদের শোধনের কাজেও তড়িৎ-বিচ্ছেদ প্রক্রিয়া প্রয়োগ করা হয়। রসায়নের যে-কোন পাঠ্যপুস্তকে এ সম্পর্কে বিস্তারিত আলোচনা পাওয়া যাইবে।

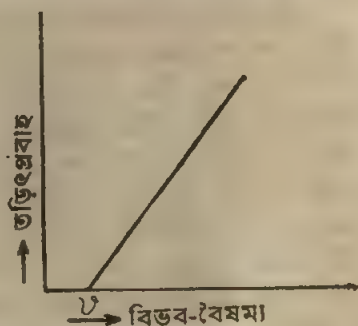
## 5.10 কতকগুলি প্রাসঙ্গিক প্রশ্ন

1. তড়িৎ-বিচ্ছেদ্য পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ এবং ধাতব পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের পার্থক্য কী ?

তড়িৎ-বিচ্ছেদ্য পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয় ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আয়নের সঞ্চালনের সাহায্যে; আর ধাতব পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয় মুক্ত ইলেকট্রনের সঞ্চালনের সাহায্যে।

তড়িৎ-বিচ্ছেদ্য দ্রবণের মধ্য দিয়া যখন তড়িৎ-প্রবাহ চলে তখন তড়িৎ-বিচ্ছেদ্য পদার্থের রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে। ধাতব পরিবাহীর মধ্য দিয়া যখন তড়িৎ-প্রবাহ চলে তখন কোনরূপ রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে না।

কোন ধাতব পরিবাহীতে প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য এবং উহার মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের সম্পর্ক ওহমের সূত্র মানিয়া চলে। তড়িৎ-বিচ্ছেদ্য পদার্থে প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য এবং উহার মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের সম্পর্ক সাধারণত ওহমের সূত্র মানিয়া চলে না। কোন কোন ক্ষেত্রে অবশ্য ওহমের সূত্রটি প্রযোজ্য হইতে দেখা যায়। উদাহরণস্বরূপ, তড়িৎ-বিচ্ছেদ্য পদার্থটি যদি কপার সালফেট বা সিলভার নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণ হয় এবং তড়িদ্বারগুলি যথাক্রমে তামা বা রূপার দণ্ড হয় তাহা হইলে তড়িৎ-প্রবাহ বিভব-বৈষম্যের সমানুপাতিক হয়। কিন্তু তড়িৎ-বিচ্ছেদ্য পদার্থটি যদি লবু সালফিউরিক অ্যাসিডের দ্রবণ হয় এবং তড়িদ্বার দুইটি যদি প্র্যাটিনামের তৈয়ারী হয় তাহা হইলে প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য একটি নির্দিষ্ট মান (১ বরি) অতিক্রম না করা পর্যন্ত তড়িৎ-প্রবাহের মান অতি নগণ্য হয়। প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য ঐ মান অতিক্রম করিলে বিভব-বৈষম্যের বৃদ্ধির সাহিত তড়িৎ-প্রবাহ সরলরৈখিকভাবে (linearly) বাড়িতে থাকে (চিত্র 5.7)। এক্ষেত্রে তড়িৎ-প্রবাহ বিভব-বৈষম্য লেখচিত্রটি মূলবিন্দুগামী সরলরেখা নয় বালিয়া ওহমের সূত্রটি প্রযোজ্য হয় না।



চিত্র 5.7

2. তড়িৎ-বিচ্ছেদ্য পদার্থ জলে দ্রবীভূত হইলে বিয়োজিত হয় কেন ?

তড়িৎ-বিচ্ছেদ্য পদার্থগুলি তড়িৎ-যোজী। ইহাদের অণুতে ধনাত্মক আয়ন এবং ঋণাত্মক আয়ন স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ-বলে পরস্পরের সাহিত আবদ্ধ থাকে। এই



আকর্ষণ বল শিথিল হইলে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আয়ন পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া যাইতে পারে।

দুইটি আয়নের মধ্যবর্তী আকর্ষণ বল কুলম্বের সূত্র দ্বারা নির্ধারিত হয়। এই সূত্র অনুসারে,  $q_1$  এবং  $q_2$  মানের বিপরীতধর্মী আধানবাহী দুইটি আয়নের পারস্পরিক আকর্ষণ বল,

$$F = \frac{q_1 q_2}{K r^2}$$

এখানে  $r$  হইল আধান দুইটির মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং  $K$  হইল আধান দুইটি যে-মাধ্যমে বিদ্যমান উহার পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (dielectric constant)।  $K$ -এর মান বত বাড়িবে কুলম্বীয় আকর্ষণ-বল তত কমিবে। জলের ক্ষেত্রে  $K$ -এর মান প্রায় 80। কাজেই, জলে দ্রবীভূত করিলে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের অণুতে বিদ্যমান ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আয়নগুলির পারস্পরিক আকর্ষণ কমিয়া যায়, ফলে ইহারা পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া যায়। ইহাই জলীয় দ্রবণে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের তড়িৎ-বিশ্লেষণের ব্যাখ্যা।

### 3. তড়িৎ-বিশ্লেষণ (electrolytic dissociation) এবং রাসায়নিক বিভাজনে (chemical dissociation) পার্থক্য কী?

তড়িৎ-বিশ্লেষণে পদার্থের একটি অণু দুইটি আয়নে পরিণত হয়। কিন্তু রাসায়নিক বিভাজনে একটি অণু তড়িৎবিহীন মৌলে বা যৌগে পরিণত হয়। উদাহরণস্বরূপ, অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড অণু ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) তড়িৎ-বিশ্লেষণে ধনাত্মক অ্যামোনিয়াম ( $\text{NH}_4^+$ ) আয়ন এবং ঋণাত্মক ক্লোরিন ( $\text{Cl}^-$ ) আয়নে পরিণত হয়। কিন্তু রাসায়নিক বিভাজনে ইহা অ্যামোনিয়া ( $\text{NH}_3$ ) এবং হাইড্রোজেন ক্লোরাইডে ( $\text{HCl}$ -এ) পরিণত হয়।

এক্ষেত্রে উল্লেখ করা যায় যে, পরমাণুর তুলনায় আয়নের রাসায়নিক সক্রিয়তা কম। উদাহরণস্বরূপ, সাধারণ খাদ্যলবণ বন্ধন জলে দ্রবীভূত হয় তখন লবণের অণু ( $\text{NaCl}$ ) তড়িৎ-বিশ্লেষণে  $\text{Na}^+$  আয়ন এবং  $\text{Cl}^-$  আয়ন গঠন করে। আমরা জানি যে, সোডিয়াম জলের সহিত তীব্রভাবে বিক্রিয়া করে। সুতরাং প্রশ্ন উঠিতে পারে, তাহা হইলে সোডিয়াম আয়ন বিক্রিয়া না করিয়া জলীয় দ্রবণে বিদ্যমান থাকে কিরূপে? কোন মৌলের রাসায়নিক ধর্ম নির্ভর করে উহার বাহিরের ইলেকট্রন-কক্ষের ইলেকট্রন-সংখ্যার উপর। সোডিয়াম পরমাণুর বাহিরের কক্ষে একটি ইলেকট্রন থাকে। এই ইলেকট্রনটি অপসারিত হইলে সোডিয়াম পরমাণু সোডিয়াম আয়নে পরিণত হয়।  $\text{Na}^+$  আয়নের ইলেকট্রনীয় গঠন নিষ্ক্রিয় পরমাণু নিয়নের অনুরূপ। আবার, ক্লোরিন পরমাণু একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করিয়া বন্ধন  $\text{Cl}^-$  আয়নে পরিণত হয় তখন ইহার ইলেকট্রনীয় গঠন হয় নিষ্ক্রিয় পরমাণু আর্গনের অনুরূপ। নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন সজ্জা লাভ করার ফলেই  $\text{Na}^+$  আয়ন এবং  $\text{Cl}^-$  আয়নের রাসায়নিক সক্রিয়তা থাকে না। এই কারণেই সোডিয়াম পরমাণু জলের সহিত বিক্রিয়া ঘটাইলেও সোডিয়াম আয়ন জলের সহিত বিক্রিয়া না করিয়া জলীয় দ্রবণে থাকিতে পারে।

• সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

**উদাহরণ 5.1** কপার সালফেট দ্রবণের মধ্য দিয়া 40 মিনিট সময় ধরিয়া 3 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইলে ক্যাথোডে 2.40 গ্রাম তামা সঞ্চিত হয়। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর।

**সমাধান :** আমরা জানি,  $W = Zct$

এখানে,  $W = 2.40 \text{ gm}$ ,  $c = 3 \text{ A}$  এবং  $t = 40 \times 60 \text{ sec}$

$$\therefore Z = \frac{W}{ct} = \frac{2.4}{3 \times 40 \times 60} = 0.00033 \text{ gm/C}$$

**উদাহরণ 5.2** জিঙ্ক সালফেট দ্রবণের মধ্য দিয়া কতক্ষণ ধরিয়া 1.25 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ক্যাথোডে 1 গ্রাম দস্তা সঞ্চিত হইবে? দস্তার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 0.0003389 \text{ গ্রাম/কুলম্ব}$ ।

**সমাধান :** আমরা জানি,  $W = Zct$

এখানে,  $W = 1 \text{ gm}$ ,  $Z = 0.0003389 \text{ gm/C}$  এবং  $c = 1.25 \text{ A}$

$$\therefore \text{নির্ণয়ের সময়, } t = \frac{W}{Zc} = \frac{1}{0.0003389 \times 1.25} \text{ sec} = 39 \text{ মিনিট } 40 \text{ সেকেন্ড}$$

**উদাহরণ 5.3** কপার সালফেট দ্রবণের মধ্য দিয়া 3 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। ক্যাথোড পাতের ক্ষেত্রফল 1.5 বর্গমিটার। প্রতি মিনিটে সঞ্চিত তামার আন্তরঙ্গের গড় বেধবৃদ্ধি নির্ণয় কর। (তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 0.00033 \text{ gm/C}$ ; তামার ঘনত্ব  $= 8.9 \text{ gm/cm}^3$ )

**সমাধান :** মনে করি, প্রতি মিনিটে বেধবৃদ্ধি  $= x \text{ cm}$

$$\therefore \text{সঞ্চিত তামার আয়তন} = 1.5 \times 100^2 \times x \text{ cm}^3$$

$$\therefore \text{সঞ্চিত তামার ভর, } W = 1.5 \times 100^2 \times x \times 8.9 \text{ gm}$$

$$\bullet \text{ ফ্যারাডের সূত্রানুসারে, ক্যাথোডে সঞ্চিত তামার ভর, } W = Zct \quad \dots (i)$$

এখানে,  $c = 3 \text{ A}$  এবং  $t = 60 \text{ sec}$

$$\text{সমীকরণ (i) হইতে পাই, } 1.5 \times 100^2 \times x \times 8.9 = 0.00033 \times 3 \times 60$$

$$\text{বা, } x = \frac{0.00033 \times 3 \times 60}{1.5 \times 100^2 \times 8.9} \text{ cm} = 4.44 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

**উদাহরণ 5.4** একটি তামা-ভোল্টামিটারকে একটি ব্যাটারী এবং একটি 1 ওহ্ম রোধের সহিত শ্রেণী-সমবাস্তে যুক্ত হইল। এক ঘণ্টা ধরিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে 2.952 gm তামা সঞ্চিত হইল। 1 ওহ্ম রোধটির দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য 2.5 ভোল্ট হইলে তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কত?

**সমাধান :** 1 ওহ্ম রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য  $= 2.5 \text{ volt}$

$$\therefore \text{তড়িৎ-প্রবাহ, } c = \frac{\text{বিভব-বৈষম্য}}{\text{রোধ}} = \frac{2.5 \text{ volt}}{1 \text{ ohm}} = 2.5 \text{ A}$$

ফ্যারাডের সূত্রানুসারে,  $W = Zct$

এখানে,  $W = 2.952 \text{ gm}$  এবং  $t = 1 \text{ ঘণ্টা} = 60 \times 60 \text{ sec}$

$$\therefore Z = \frac{W}{ct} = \frac{2.952}{2.5 \times 60 \times 60} = 0.000328 \text{ gm/C}$$

**উদাহরণ 5.5** শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত একটি তামা-ভোল্টামিটার এবং একটি জল-ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়া একটি নির্দিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। যে-সময়ে তামা-ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে 3.5 গ্রাম তামা জমা হইবে সেই সময়ে উৎপন্ন হাইড্রোজেনের আয়তন কত? ধরিয়া লও যে, হাইড্রোজেনের উষ্ণতা ও চাপ যথাক্রমে  $18^\circ\text{C}$  এবং  $97\text{ cmHg}$ । তামার পারমাণবিক ওজন = 63 এবং স্বাভাবিক চাপ ও উষ্ণতার হাইড্রোজেনের ঘনত্ব =  $0.09\text{ গ্রাম/লিটার}$ ।

**সমাধান :** মনে করি, উৎপন্ন হাইড্রোজেন গ্যাসের ভর =  $W\text{ gm}$

তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =  $\frac{63}{2} = 31.5$  ( তামার বোজ্যতা 2 বলিয়া )

ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র হইতে লেখা যায়,

$$\frac{W}{3.5} = \frac{\text{হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{\text{তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}} = \frac{1}{31.5}$$

$$\therefore W = \frac{3.5}{31.5} = \frac{1}{9}\text{ gm}$$

সুতরাং, স্বাভাবিক চাপ ( $76\text{ cm}$  পারদস্তম্ভের চাপ ) এবং  $0^\circ\text{C}$  উষ্ণতার হাইড্রোজেন গ্যাসের

$$\text{আয়তন, } V_1 = \frac{1}{9 \times 0.09}\text{ litre}$$

মনে করি,  $97\text{ cmHg}$  চাপে এবং  $18^\circ\text{C}$  উষ্ণতার ইহার আয়তন =  $V$

$$\text{এখন, গ্যাসের সূত্রানুসারে, } \frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1} \quad \dots \quad (i)$$

$$P = 97\text{ cmHg, } P_1 = 76\text{ cmHg}$$

$$T = (18 + 273) = 291\text{ K, } T_1 = 273\text{ K}$$

$$\therefore \text{সমীকরণ (i) হইতে পাই, } \frac{97 \times V}{291} = \frac{76 \times \frac{1}{9 \times 0.09}}{273}$$

$$\therefore V = 1.03\text{ litre}$$

**উদাহরণ 5.6** একটি ড্যানিয়েল কোষ 45 মিনিট ধরিয়া  $0.1\text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে তামার এবং দস্তার তড়িদ্বারের ভরের কী পরিবর্তন হইবে নির্ণয় কর। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =  $0.00033\text{ gm/C}$ , তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $31.8$  এবং দস্তার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =  $32.6$ ।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (শি-চমবজ), 1983 ]

**সমাধান :** আমরা জানি যে,

$$\frac{\text{দস্তার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{\text{তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}} = \frac{\text{দস্তার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{\text{তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}} = \frac{32.6}{31.8}$$

$$\therefore \text{দস্তার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক} = \frac{32.6}{31.8} \times 0.00033\text{ gm/C} \\ = 0.000338\text{ gm/C}$$

কাজেই, তড়িৎ-প্রবাহের ফলে দস্তার ক্ষয়ের পরিমাণ,

$$W_{zn} = Z_{zn} \cdot c \cdot t$$

এখানে  $c = 1.5\text{ A}$  এবং  $t = 45\text{ মিনিট} = 45 \times 60\text{ sec}$  বলিয়া লেখা যায়,  
দস্তার ক্ষয়,  $W_{zn} = 0.000338 \times 0.1 \times (45 \times 60)\text{ gm} = 0.09126\text{ gm}$

তামার তড়িদ্বারে সঞ্চিত তামার পরিমাণ

$$W_{Cu} = Z_{Cu} \times c \times t \\ = 0.00033 \times 0.1 \times (45 \times 60) \text{ gm} = 0.0891 \text{ gm}$$

কাজেই, এক্ষেত্রে তামার তড়িদ্বারের ভর-বৃদ্ধি হইবে 0.0891 gm এবং দস্তার তড়িদ্বারের ভর হ্রাস হইবে 0.09126 gm।

**উদাহরণ 5.7** একটি স্ট্রের উত্তর পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল 10 cm<sup>2</sup>। এই পাতের দুই পৃষ্ঠে 0.001 cm বের্বালিষ্ট প্রলেপ দিতে হইবে। এই উদ্দেশ্যে 12 V তড়িচ্চালক বল-সম্পন্ন একটি ব্যাটারী ব্যবহৃত হইল। উক্ত প্রলেপটি দিতে ব্যাটারী কত শক্তি ব্যয় করিল তাহা নির্ধারণ কর। তামার ঘনত্ব = 9 gm/cm<sup>3</sup> এবং তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =  $3 \times 10^{-4}$  gm/C। [আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1971]

**সমাধান :** স্ট্রের দুই পৃষ্ঠের মোট ক্ষেত্রফল =  $2 \times 10 \text{ cm}^2 = 20 \text{ cm}^2$ ; তামার প্রলেপের বেধ 0.001 cm বলিয়া যে-পরিমাণ তামা স্ট্রের উপর জমিবে উহার আয়তন = ক্ষেত্রফল  $\times$  বেধ =  $20 \text{ cm}^2 \times 0.001 \text{ cm} = 0.02 \text{ cm}^3$

কাজেই, যে-পরিমাণ তামা বৃত্ত করিতে হইবে উহার ভর = আয়তন  $\times$  ঘনত্ব.

$$= 0.02 \text{ cm}^3 \times 9 \text{ gm/cm}^3 = 0.18 \text{ gm}$$

ফ্যারাডের সূত্র হইতে লেখা যায়,  $W = ZQ$  ( $Q$  = মোট তড়িদাধান)

$$\text{সুতরাং, } Q = \frac{W}{Z} = \frac{0.18 \text{ gm}}{3 \times 10^{-4} \text{ gm/C}} = 600 \text{ C}$$

কাজেই, ব্যাটারী বর্ত্তক ব্যয়িত শক্তি = তড়িদাধান  $\times$  তড়িচ্চালক বল

$$= 600 \text{ C} \times 12 \text{ V} = 7200 \text{ J}$$

**উদাহরণ 5.8** একটি 12 V ব্যাটারীর সহিত একটি রৌপ্য-ভোল্টামিটার এবং একটি তাম-ভোল্টামিটার সমান্তরাল সম্বন্ধে যুক্ত করা আছে। আধ ঘণ্টা সময়ে 1 gm রূপা এবং 1.8 gm তামা সঞ্চিত হইলে ব্যাটারীর শক্তি-সরবরাহের হার নির্ণয় কর। ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ উপেক্ষা কর। (রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =  $11.2 \times 10^{-4}$  gm/C এবং তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =  $6.6 \times 10^{-4}$  gm/C।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1975]

**সমাধান :** মনে করি, রৌপ্য-ভোল্টামিটার এবং তাম-ভোল্টামিটারের তড়িৎ-প্রবাহ বধাক্রমে  $I_1$  অ্যাম্পিয়ার এবং  $I_2$  অ্যাম্পিয়ার।

আমরা জানি যে,  $W = Z I. t$

$$\therefore I_1 = \frac{W_1}{Z_1 t} \quad \dots (i)$$

এখানে,  $W_1$  = রৌপ্য-ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে সঞ্চিত রূপার ভর = 1 gm

$Z_1$  = রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =  $11.2 \times 10^{-4}$  gm/C

$t = \frac{1}{2}$  ঘণ্টা =  $30 \times 60 \text{ sec}$

$$\therefore I_1 = \frac{1}{11.2 \times 10^{-4} \times 30 \times 60} \text{ অ্যাম্পিয়ার} = 0.496 \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

অনুরূপভাবে,  $I_2 = \frac{W_2}{Z_2 t}$

$$= \frac{1.8}{6.6 \times 10^{-4} \times 30 \times 60} \text{ অ্যাম্পিয়ার} = 1.515 \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$



$$\begin{aligned}
 \text{সূত্রাং ব্যাটারী কর্তৃক সরবরাহিত মোট তড়িৎ-প্রবাহ} &= I_1 + I_2 \\
 &= (0.496 + 1.515) \text{ অ্যাম্পিয়ার} = 2.011 \text{ অ্যাম্পিয়ার} \\
 \text{সূত্রাং, ব্যাটারী কর্তৃক সরবরাহিত শক্তির হার} \\
 &= \text{তড়িচ্চালক বল} \times \text{তড়িৎ-প্রবাহ} \\
 &= 12 \text{ V} \times 2.011 \text{ A} = 24.13 \text{ W}
 \end{aligned}$$

**উদাহরণ 5.9** 20 বর্গ মিলিমিটার ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি চামচের উপর 0.01 mm বেধবিশিষ্ট ন্যূনতম প্রলেপ দিতে হইলে 0.15 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহকে কতক্ষণ চালু রাখিতে হইবে? ন্যূনতম তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.001118 gm/C এবং ন্যূনতম ঘনত্ব  $10.5 \text{ gm/cm}^3$ ।

**সমাধান :** চামচের ক্ষেত্রফল  $= 0.20 \text{ cm}^2$

ন্যূনতম প্রলেপের বেধ  $= 0.001 \text{ cm}$

সূত্রাং, সঞ্চিত ন্যূনতম আয়তন  $= 0.20 \times 0.001 \text{ cm}^3$

ন্যূনতম ঘনত্ব  $10.5 \text{ gm/cm}^3$  বলিয়া সঞ্চিত ন্যূনতম ভর, W

$$= 0.20 \times 0.001 \times 10.5 = 0.0021 \text{ gm}$$

আমরা জানি,  $W = Zct$  বা,  $t = \frac{W}{Zc}$

এখানে,  $W = 0.0021 \text{ gm}$ ,  $Z = 0.001118 \text{ gm/C}$  এবং  $c = 0.15 \text{ A}$

$$\therefore t = \frac{0.0021}{0.001118 \times 0.15} = 12.52 \text{ sec}$$

**উদাহরণ 5.10** জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণে যখন 20 মিনিট ধরিয়া 0.5 A তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হয় তখন 68 cmHg চাপে এবং  $25^\circ\text{C}$  উষ্ণতায়  $83.7 \text{ cm}^3$  হাইড্রোজেন গ্যাস সংগৃহীত হইল।

কপার সালফেট দ্রবণে তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কত? দেওয়া আছে যে, তামার পারমাণবিক গুরুত্ব  $= 63.57$ , হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব  $= 1.0008$ ,

হাইড্রোজেনের ঘনত্ব  $= 0.08987 \text{ gm/litre}$  [জরেন্স্ট এন্ট্রোস্, 1984]

**সমাধান :** মনে করি, প্রমাণ চাপ এবং উষ্ণতায় মুক্ত হাইড্রোজেন গ্যাসের আয়তন  $= V \text{ cm}^3$ ।

$$\text{আমরা জানি যে, } \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

কাজেই, প্রস্থানুসারে লেখা যায়,

$$\frac{68 \times 83.7}{(273 + 25)} = \frac{76 \times V}{273}$$

$$\text{বা, } V = \frac{68 \times 83.7 \times 273}{298 \times 76} \text{ cm}^3 = 68.61 \text{ cm}^3$$

কাজেই, মুক্ত হাইড্রোজেনের ভর,  $W = \frac{68.61}{1000} \times 0.08987 \text{ gm}$  ... (i)

সমীকরণ  $W = Zct$  হইতে পাই,

$$\frac{68.61}{1000} \times 0.08987 = Z_H \times c \times t \quad \dots \quad \text{(ii)}$$

এখানে,  $C = 0.5 \text{ A}$ ,  $t = 20 \text{ মিনিট} = 20 \times 60 \text{ sec}$  এবং  $Z_H = \text{হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}$ । কাজেই, (ii) নং সমীকরণ হইতে পাই,

$$\frac{68.61}{1000} \times 0.08987 = Z_H \times 0.5 \times 20 \times 60$$

$$\text{বা, } Z_H = 1.028 \times 10^{-5} \text{ gm/C}$$

কপার সালফেটে আমার যোজ্যতা 2; কাজেই, ইহার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $E_{cu} = (63.57/2)$ । হাইড্রোজেনের যোজ্যতা 1, কাজেই ইহার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক,  $E_H = 1.008$ । আমরা জানি যে,

$$Z_A = \frac{E_A}{E_H} \times Z_B \text{ [ সমীকরণ 5.3 দ্রষ্টব্য ]}$$

$$\text{সুতরাং, } Z_{cu} = \frac{E_{cu}}{E_H} \times Z_H$$

$$= 1.028 \times 10^{-5} \times \frac{63.57}{2} \times \frac{1}{1.008} \text{ gm/C}$$

$$= 3.24 \times 10^{-4} \text{ gm/C}$$

### ৫.৩.৩. তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া

ক্ষারক, অম্ল এবং চর্বাণ জাতীয় কোন পদার্থের দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইলে ঐ পদার্থ বিচ্ছিন্ন হইয়া যায়। এই ক্রিয়াকে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া এবং এইরূপ দ্রবণকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বলা হয়।

ফ্যারাডে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া সম্পর্কে দুইটি সূত্র বিবৃত করেন।

**প্রথম সূত্র :** তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে তড়িৎদ্বারে মুক্ত আয়নের ভর প্রবাহিত তড়িদ্রব্যানের পরিমাণের সমানুপাতিক।

**দ্বিতীয় সূত্র :** বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়া সম-পরিমাণ তড়িদ্রব্যান প্রবাহিত হইলে বিভিন্ন তড়িদ্বারে মুক্ত আয়নের ভর উহাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক।

$$\text{প্রথম সূত্র হইতে পাই, } W = Zct$$

এখানে  $W = \text{তড়িদ্বারে মুক্ত মোলের ভর}$ ,  $c = \text{তড়িৎ-প্রবাহ}$  এবং  $t = \text{সময়}$  এবং  $Z = \text{আলোচ্য মোলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}$ ।

কোন মোলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক

$$= \text{ঐ মোলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক} \times \text{হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}$$

যে-পরিমাণ তড়িদ্রব্যান কোন মোলের এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক পরিমাণ মুক্ত করে তাহাকে এক ফ্যারাডে তড়িদ্রব্যান বলা হয়।

$$1 \text{ ফ্যারাডে} = 96494 \text{ কুলম্ব}$$

$$\begin{aligned}
 \text{সূত্রাং ব্যাটারী কর্তৃক সরবরাহিত মোট তড়িৎ-প্রবাহ} &= I_1 + I_2 \\
 &= (0.496 + 1.515) \text{ অ্যাম্পিয়ার} = 2.011 \text{ অ্যাম্পিয়ার} \\
 \text{সূত্রাং, ব্যাটারী কর্তৃক সরবরাহিত শক্তির হার} \\
 &= \text{তড়িৎচালক বল} \times \text{তড়িৎ-প্রবাহ} \\
 &= 12 \text{ V} \times 2.011 \text{ A} = 24.13 \text{ W}
 \end{aligned}$$

**উদাহরণ 5.9** 20 বর্গ মিলিমিটার ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি চামচের উপর 0.01 mm বেধবিশিষ্ট ন্যূনতম প্রলেপ দিতে হইলে 0.15 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহকে কতক্ষণ চালু রাখিতে হইবে? ন্যূনতম তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.001118 gm/C এবং ন্যূনতম ঘনত্ব 10.5 gm/cm<sup>3</sup>।

$$\begin{aligned}
 \text{সমাধান : চামচের ক্ষেত্রফল} &= 0.20 \text{ cm}^2 \\
 \text{ন্যূনতম প্রলেপের বেধ} &= 0.001 \text{ cm} \\
 \text{সূত্রাং, সঞ্চিত ন্যূনতম আয়তন} &= 0.20 \times 0.001 \text{ cm}^3 \\
 \text{ন্যূনতম ঘনত্ব } 10.5 \text{ gm/cm}^3 \text{ বলিয়া সঞ্চিত ন্যূনতম ভর, } W \\
 &= 0.20 \times 0.001 \times 10.5 = 0.0021 \text{ gm} \\
 \text{আমরা জানি, } W &= Zct \text{ বা, } t = \frac{W}{Zc}
 \end{aligned}$$

$$\text{এখানে, } W = 0.0021 \text{ gm, } Z = 0.001118 \text{ gm/C এবং } c = 0.15 \text{ A}$$

$$\therefore t = \frac{0.0021}{0.001118 \times 0.15} = 12.52 \text{ sec}$$

**উদাহরণ 5.10** জলের তড়িৎ-বিয়োজনে যখন 20 মিনিট ধরিয়া 0.5 A তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হয় তখন 68 cmHg চাপে এবং 25°C উষ্ণতায় 83.7 cm<sup>3</sup> হাইড্রোজেন গ্যাস সংগৃহীত হইল।

কপার সালফেট দ্রবণে তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কত? দেওয়া আছে যে, তামার পারমাণবিক গুরুত্ব = 63.57, হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব = 1.0008, হাইড্রোজেনের ঘনত্ব = 0.08987 gm/litre [জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1984]

**সমাধান :** মনে করি, প্রমাণ চাপ এবং উষ্ণতায় মুক্ত হাইড্রোজেন গ্যাসের আয়তন = V cm<sup>3</sup>।

$$\text{আমরা জানি যে, } \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

কাজেই, প্রস্থানুসারে লেখা যায়,

$$\frac{68 \times 83.7}{(273 + 25)} = \frac{76 \times V}{273}$$

$$\text{বা, } V = \frac{68 \times 83.7 \times 273}{298 \times 76} \text{ cm}^3 = 68.61 \text{ cm}^3$$

$$\text{কাজেই, মুক্ত হাইড্রোজেনের ভর, } W = \frac{68.61}{1000} \times 0.08987 \text{ gm} \quad \dots \quad (i)$$

সমীকরণ  $W = Zct$  হইতে পাই,

$$\frac{68.61}{1000} \times 0.08987 = Z_R \times c \times t \quad \dots \quad (ii)$$

এখানে,  $C = 0.5 \text{ A}$ ,  $t = 20 \text{ মিনিট} = 20 \times 60 \text{ sec}$  এবং  $Z_H = \text{হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}$ । কাজেই, (ii) নং সমীকরণ হইতে পাই,

$$\frac{68.61}{1000} \times 0.08987 = Z_H \times 0.5 \times 20 \times 60$$

$$\text{বা, } Z_H = 1.028 \times 10^{-5} \text{ gm/C}$$

কপার সালফেটে তামার ঘোজ্যতা 2; কাজেই, ইহার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $E_{cu} = (63.57/2)$ । হাইড্রোজেনের ঘোজ্যতা 1, কাজেই ইহার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক,  $E_H = 1.008$ । আমরা জানি যে,

$$Z_A = \frac{E_A}{E_B} \times Z_B \text{ [ সমীকরণ 5.3 দ্রষ্টব্য ]}$$

$$\text{সুতরাং, } Z_{cu} = \frac{E_{cu}}{E_H} \times Z_H$$

$$= 1.028 \times 10^{-5} \times \frac{63.57}{2} \times \frac{1}{1.008} \text{ gm/C}$$

$$= 3.24 \times 10^{-4} \text{ gm/C}$$

### ১১.৩.৩. তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া

ক্ষারক, অম্ল এবং লবণ জাতীয় কোন পদার্থের দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইলে ঐ পদার্থ বিশ্লিষ্ট হইয়া যায়। এই ক্রিয়াকে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া এবং এইরূপ দ্রবণকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বলা হয়।

ফ্যারাডে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া সম্পর্কে দুইটি সূত্র বিবৃত করেন।

**প্রথম সূত্র :** তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে তড়িৎদ্বারে মুক্ত আয়নের ভর প্রবাহিত তড়িদাধানের পরিমাণের সমানুপাতিক।

**দ্বিতীয় সূত্র :** বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়া সম-পরিমাণ তড়িদাধান প্রবাহিত হইলে বিভিন্ন তড়িৎদ্বারে মুক্ত আয়নের ভর উহাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক।

$$\text{প্রথম সূত্র হইতে পাই, } W = Zct$$

এখানে  $W = \text{তড়িৎদ্বারে মুক্ত মোলের ভর}$ ,  $c = \text{তড়িৎ-প্রবাহ}$  এবং  $t = \text{সময়}$  এবং  $Z = \text{আলোচ্য মোলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}$ ।

কোন মোলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক

$= \text{ঐ মোলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক} \times \text{হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}$   
যে-পরিমাণ তড়িদাধান কোন মোলের এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক পরিমাণ মুক্ত করে তাহাকে এক ফ্যারাডে তড়িদাধান বলা হয়।

$$1 \text{ ফ্যারাডে} = 96494 \text{ কুলম্ব}$$



## প্রশ্নাবলী 5

## হুম্বোল্ডের প্রশ্নাবলী

1. তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ এবং খাতব পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের পার্থক্য কি? [জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1985]
2. 'বৃপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $0.001118 \text{ gm/C}$ ' বলিতে কী বুঝ?
3. তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়ার ভিত্তিকে কীরূপে অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা দেওয়া হয়? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]
4. চিনির জলীয় দ্রবণ বিদ্যুতের অপরিবাহী; কিন্তু সাধারণ লবণের দ্রবণ বিদ্যুতের পরিবাহী। ইহার কারণ কী?
5. তড়িদ্বার হিসাবে দুইটি তামার পাত ব্যবহার করিয়া তু'তের দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ফল কী হইবে?
6. তড়িদ্বার হিসাবে দুইটি প্রাটিনামের পাত ব্যবহার করিয়া তু'তের দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ফল কী হইবে?
7. তড়িৎ-বিশ্লেষণ ক্রিয়ার ভিত্তিতে কীরূপে তড়িৎ-প্রবাহ পরিমাপ করিবে?
8. 'তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে যে-কোন যৌগের এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক ভর মুক্ত করিতে নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িদাধান প্রয়োজন।' ব্যাখ্যা কর।
9. 'দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটে'। উক্তিটি আলোচনা কর।
10. তোমার নিকট অবিশুদ্ধ জলপূর্ণ একটি বীকার এবং দুইটি তার আছে। ইহাদের সাহায্যে কীরূপে একটি সমমুখী বিদ্যুৎ সরবরাহ (D. C. Supply) লাইনের দুই মেরুর প্রকৃতি নির্ধারণ করিবে?
11. একটি তামা-ভোল্টামিটার এবং একটি বৃপা-ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়া একই সময়ে ধরিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহার ফলে কি একই পরিমাণ তামা এবং বৃপা মুক্ত হইবে? যুক্তিসহ উত্তর দাও।
12. জলীয় দ্রবণে সাধারণ খাদ্যলবণের অণুগুলির তড়িৎ-বিরোধন হয় কেন?
13. চিনির দ্রবণ বিদ্যুতের অপরিবাহী, কিন্তু সাধারণ লবণের দ্রবণ বিদ্যুতের সুপরিবাহী। ইহার কারণ কী?

## নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

14. তড়িৎ-বিশ্লেষণ কাহাকে বলে? তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, অ্যানায়ল, ক্যাটায়ন বলিতে কী বুঝ? উদাহরণের সহিত ব্যাখ্যা কর।
15. (a) তড়িৎ-বিশ্লেষণ-সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্রগুলি বিবৃত কর এবং ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986] তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। তড়িৎ-বিশ্লেষণের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর।  
(b) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয় কীরূপে?

(সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978)

16. (a) তড়িৎ-বিশ্লেষণ সম্বন্ধীয় ফ্যারাডের সূত্রগুলি লিখ। তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা দাও।

(b) সংক্ষেপে তড়িৎ-প্রলেপের মূলনীতি আলোচনা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981]

(c) তড়িৎ-প্রলেপের দুইটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উদাহরণ দাও।

17. (a) তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া বলিতে কী বুঝায়?

(b) ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণ সংক্রান্ত সূত্রগুলি লিখ এবং ব্যাখ্যা কর। তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কী? ইহাদের পরস্পর কীভাবে সম্পর্কিত?

(c) তড়িৎ-বিশ্লেষণের দুইটি ব্যবহারিক প্রয়োগের বর্ণনা দাও।

[উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981]

18. ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণ-সংক্রান্ত সূত্রগুলি বিবৃত কর। পরীক্ষার সাহায্যে কীভাবে এই সূত্রগুলির সত্যতা যাচাই করিবে? কোন মোলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলিতে কী বুঝ? ইহাদের মধ্যে সম্পর্ক কী?

শিষ্যক্ষেত্রে তড়িৎ-বিশ্লেষণের কয়েকটি ব্যবহারের উল্লেখ কর এবং তড়িৎ-প্রলেপন প্রক্রিয়াটি ব্যাখ্যা কর।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987]

19. জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ কীভাবে করা যায়? ইহা হইতে কী সিদ্ধান্তে আসা যায়?

20. ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণ-সংক্রান্ত সূত্র দুইটি বিবৃত কর এবং ব্যাখ্যা দাও। পরীক্ষার সাহায্যে কীভাবে ইহাদের সত্যতা নিরূপণ করা যায়?

21. ফ্যারাডের সূত্রগুলি বিবৃত কর। কোন মোলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সহিত উহার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর।

22. ফ্যারাডে কাহাকে বলে? কুলম্ব ইহার মান কত? তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় করিবার পদ্ধতি বর্ণনা কর।

23. তড়িৎ-বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার ব্যবহারিক প্রয়োগের কয়েকটি উদাহরণ দাও।

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

24. সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ হইতে প্রতি ঘণ্টার 0.805 gm রূপা ক্যাথোডে জমা করিতে কী পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইতে হইবে নির্ণয় কর। (রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 0.001118 gm/C)

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987] [0.2 A]

25. কপার সালফেট দ্রবণের মধ্য দিয়া 2 A তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। ক্যাথোডের ক্ষেত্রফল 1.5 বর্গ মিটার হইলে ক্যাথোডের উপর প্রতি মিনিটে কত বেধের আশ্রয় পড়িবে? (তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক;  $Z = 0.0003294$  gm/C এবং ঘনত্ব  $8.9$  gm/cm<sup>3</sup>)

[ $2.96 \times 10^{-7}$  cm]

26. কপার সালফেট দ্রবণের মধ্য দিয়া 20 মিনিট সময় ধরিয়া 3 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইলে ক্যাথোডে 1.20 gm তামা সঞ্চিত হইল। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কত?

[0.00033 gm/C]

27. 100 বর্গ মিলিমিটার ক্ষেত্রফলের একটি ধাতব পাতের উপর 0.02 mm পুরু রূপার

প্রলেপ দিতে হইলে  $0.3 \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ কতক্ষণ চালু রাখিতে হইবে? নৃপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $0.001118 \text{ gm/C}$  এবং নৃপার ঘনত্ব  $10.5 \text{ gm/cm}^3$ ।

[ 4 মিনিট 10 সেকেন্ড ]

28.  $300 \text{ cm}^3$  ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি ধাতব পাতের উপর নিকেলের প্রলেপ দিতে হইবে। যদি 3 ঘণ্টা সময় ধরিয়া  $1.5$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলে তাহা হইলে নিকেল প্রলেপের বেধ কত হইবে? নিকেলের ঘনত্ব  $= 8.8 \text{ gm/cm}^3$  এবং নিকেলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 0.000304 \text{ gm/C}$ ।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986]

[ $0.0189 \text{ mm}$ ]

29. তু'তের জলীয় দ্রবণের মধ্য দিয়া 4 ঘণ্টা ধরিয়া  $1$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে  $15$  বর্গ সেন্টিমিটার ক্ষেত্রফলের ক্যাথোডে কী পরিমাণ তামা জমািবে? ধরিয়া লও যে, তামার ঘনত্ব  $8.9 \text{ gm/cm}^3$  এবং তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 0.00033 \text{ gm/C}$ ।

[ $0.0164 \text{ cm}$ ]

30. একটি রৌপ্য-ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়া 16 মিনিট 40 সেকেন্ড সময় ধরিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করিবার ফলে  $2$  গ্রাম  $236$  মিলিগ্রাম নৃপা ক্যাথোডে সঞ্চিত হয়। তড়িৎ-প্রবাহ দ্বিগুণ করিয়া 25 মিনিট ধরিয়া ঐ প্রবাহ চালনা করিলে কী পরিমাণ নৃপা ক্যাথোডে সঞ্চিত হইবে?

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1979] [ $6.708 \text{ gm}$ ]

$$[\text{সংকেত : } 2.236 \text{ gm} = Z \times I \times (1000 \text{ sec}) \quad \dots \quad (i)]$$

$$W = Z \times (2I) \times (25 \times 60 \text{ sec}) \quad \dots \quad (ii)]$$

31. একটি বৃত্তাকার তামার পাতের এক পাশে  $0.1 \text{ mm}$  পুরু তামা জমা করিতে  $1.25 \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহের কত সময় লাগিবে? তামার পাতের ব্যাস  $= 5 \text{ cm}$ ; তামার ঘনত্ব  $= 8.9 \text{ gm/cm}^3$  এবং তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 0.00033 \text{ gm/C}$ ।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1979 ] [ 1 ঘণ্টা 10 মিনিট 35 সেকেন্ড ( প্রায় ) ]

32. কপার সালফেট দ্রবণের মধ্য দিয়া  $2 \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। ক্যাথোড পাতের ক্ষেত্রফল  $1.5$  বর্গমিটার। তামা সঞ্চিত হওয়ার ক্যাথোড পাতের বেধ প্রতি মিনিটে কতটা বৃদ্ধি পাইবে? তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 0.00033 \text{ gm/C}$  এবং তামার ঘনত্ব  $= 8.9 \text{ gm/cm}^3$ ।

[আই. এন্সি. (কলিকাতা), 1961] [ $2.97 \times 10^{-7} \text{ cm}$ ]

33.  $250 \text{ cm}^3$  ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি ধাতব পাতের উপর তড়িৎ-বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার সাহায্যে তামার প্রলেপ দিতে হইবে।  $3 \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ ব্যবহার করা হইলে  $0.05 \text{ mm}$  বেধবিশিষ্ট তামার প্রলেপ দিতে কতক্ষণ সময় লাগিবে? ( তামার ঘনত্ব  $= 8.93 \text{ gm/cm}^3$  এবং তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 0.000329 \text{ gm/C}$ ) [ $3$  ঘণ্টা  $8$  মিনিট  $30$  সেকেন্ড]

34. যে-তড়িৎ-প্রবাহ সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের মধ্য দিয়া গিয়া  $6 \text{ gm}$  নৃপা মুক্ত করে কোন ভোল্টীয় ব্যাটারী সেই তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করিলে কী পরিমাণ দস্তার ক্ষয় হইবে? ধরিয়া লও যে, শতকরা  $20$  ভাগ দস্তা স্থানীয় ক্রিয়ায় অর্পিত হয়। দস্তার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 32.5$ , এবং নৃপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 108$ )

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1965 ] [ $2.25 \text{ gm}$ ]

35. একটি ড্যানিয়েল কোষ  $10$  মিনিট ধরিয়া  $0.2 \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করে। এই সময়ের মধ্যে কতটা তামা জমা হইবে এবং কতটা দস্তা ক্ষয় হইবে তাহা নির্ণয় কর।

(তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষ =  $0.329 \times 10^{-5}$  gm/C, তামা ও দস্তার আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর যথাক্রমে 63.5 এবং 65.5) [0.0395 gm তামা, 0.0407 gm দস্তা]

36. একটি জল-ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়া 20 মিনিট ধরিয়া 2 A তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে  $13^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় এবং 80 cmHg চাপে  $282 \text{ cm}^3$  হাইড্রোজেন মুক্ত হয়। প্রমাণ চাপ এবং উষ্ণতায় হাইড্রোজেনের ঘনত্ব  $0.089 \text{ gm/litre}$  হইলে হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষ নির্ণয় কর। [ $1.05 \times 10^{-5} \text{ gm/C}$ ]

### অটিলভর পানিতিক প্রশ্নাবলী

37. একটি রৌপ্য-ভোল্টামিটার এবং একটি জল-ভোল্টামিটারের শ্রেণী-সমবায়ের মধ্য দিয়া 15 মিনিট ধরিয়া 3.0 A তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে মুক্ত হুপা, অক্সিজেন এবং হাইড্রোজেনের ভর নির্ণয় কর। হুপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষ =  $0.001118 \text{ gm/C}$ । (হুপার পারমাণবিক গুরুত্ব 108, যোজ্যতা 1; অক্সিজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব 16, যোজ্যতা 2; হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব 1, যোজ্যতা 1)।

[3.0186 gm, 0.2235 gm, 0.02795 gm]

38. যে-পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ 25 মিনিটে  $0.85 \text{ gm}$  তামা মুক্ত করিতে পারে  $2\Omega$  মানের রোধকের মধ্য দিয়া সেই পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। এই রোধকের দুই প্রান্তের সহিত যুক্ত ভোল্টামিটার  $3.5 \text{ V}$  পাঠ দেয়। এই পাঠের দ্বিগুণ কত? (তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষ =  $3.29 \times 10^{-4} \text{ gm/C}$ )।

[ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাডমিশন টেস্ট, 1963] [0.056 V]

39. একটি তামা-ভোল্টামিটার  $2.8\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি তারের সহিত শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত করা হইল। রোধটি  $10 \text{ gm}$  জলসমবিশিষ্ট একটি ক্যালরিমিটারে রক্ষিত  $340 \text{ gm}$  জলে নিমজ্জিত রাখিয়াছে। একটি নির্দিষ্ট মানের তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া দেখা গেল যে, 30 মিনিট সময়ে  $0.99 \text{ gm}$  তামা মুক্ত হইয়াছে। একই সময়ে ক্যালরিমিটারের জলের উষ্ণতা বৃদ্ধির মান নির্ণয় কর। (তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষ =  $0.00033 \text{ gm/C}$  এবং তাপের জল তুল্যাক্ষ =  $4.2 \text{ J/cal}$ ) [ $9.53^\circ\text{C}$ ]

40. একটি বর্তনীতে উপেক্ষণীয় আভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি ব্যাটারী, একটি রোধ-বাক্স এবং একটি তামা-ভোল্টামিটার শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত আছে। রোধ-বাক্সে  $2.5 \Omega$  রোধ স্থাপন করা হইলে 20 মিনিটে  $0.72 \text{ gm}$  তামা মুক্ত হয়। আবার, রোধ-বাক্সে  $5 \Omega$  রোধ স্থাপন করিলে 10 মিনিটে  $0.24 \text{ gm}$  তামা মুক্ত হয়। তামা-ভোল্টামিটারটির রোধ নির্ণয় কর। [ $2.5 \Omega$ ]

41. একটি তামা-ভোল্টামিটার এবং একটি তাপন-কুণ্ডলী শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত আছে। তাপন-কুণ্ডলীর রোধ  $5 \Omega$  এবং ইহাকে উপেক্ষণীয় তাপধারণক্ষমাবিশিষ্ট ক্যালরিমিটারে রক্ষিত  $200 \text{ gm}$  জলে নিমজ্জিত রাখা হইল। বর্তনীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া দেখা গেল যে, 10 মিনিটে জলের  $7.5^\circ\text{C}$  উষ্ণতা-বৃদ্ধি ঘটাইয়াছে। এই সময়ে ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে কী পরিমাণ ভরের তামা জমা হইবে? (হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাক্ষ =  $1.044 \times 10^{-5} \text{ gm/C}$ , তামার পারমাণবিক গুরুত্ব = 63.5 এবং তাপের জল-তুল্যাক্ষ =  $4.2 \text{ J/cal}$ ) [ $0.288 \text{ gm}$ ]



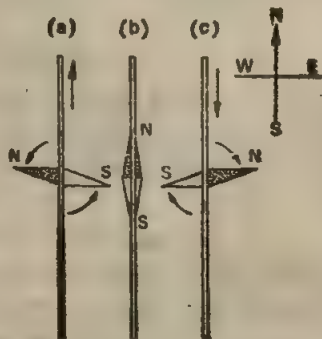
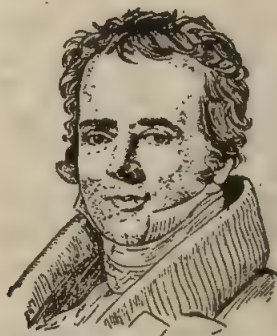


## তড়িৎ ও চুম্বকের পারস্পরিক ক্রিয়া

*Truth is only developed in the hour of need ; time, and not man, discovers it.*  
—Bonald

### 6.1 ওয়রস্টেডের আবিষ্কার

তড়িৎ ও চুম্বকের যোগসূত্র প্রথম আবিষ্কার করেন ওয়রস্টেড (Hans Christian Oersted)। এই আবিষ্কার সম্পূর্ণ আকস্মিক। কোপেনহেগেন বিশ্ববিদ্যালয়ে বক্তৃতাকালে ওয়রস্টেড প্রায়ই এই কথা বলিতেন যে, বিদ্যুৎ ও চুম্বকের কোন সম্পর্ক নাই। বক্তৃতাকালে তিনি পরীক্ষা করিয়াও তাহা দেখাইতেন। তিনি সাধারণত একটি

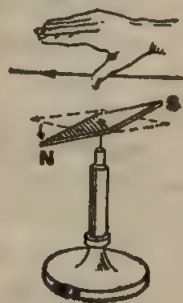


(a) বিজ্ঞানী হানস ওয়রস্টেড

চিত্র 6.1

(b)

পরিবাহী তারকে কম্পাস-কাঁটার মাঝখানে উহার সমকোণে বসাইতেন এবং তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া দেখাইতেন যে, একের উপর অন্যের কোন প্রভাব নাই। একদিন তাঁহার বক্তৃতার শেষে কয়েকজন উৎসাহী শ্রোতা তাঁহার ডেস্কের নিকট আগাইয়া আসেন। ওয়রস্টেড একটি তড়িৎবাহী তারকে কম্পাস-কাঁটার উপর উহার সমান্তরালভাবে ধরিলেন এবং সম্পূর্ণ অপ্রত্যাশিত ভাবে দেখিলেন যে, কম্পাস-কাঁটাটি একপাশে বিক্ষিপ্ত হইতেছে। তাঁহার পরীক্ষা ব্যবস্থাটি 6.1 (b) নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ বদলাইয়া তিনি দেখিলেন যে, কম্পাস-কাঁটাটির বিক্ষেপণও বিপরীতমুখী হইয়াছে। এইরূপে ওয়রস্টেড সম্পূর্ণ দৈবাৎ এই গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কার করেন। এই আবিষ্কার দৈবযোগে ঘটিয়াছে সন্দেহ নাই, কিন্তু নিউটন প্রসঙ্গে ল্যাগ্রাঞ্জ (Lagrange) যে-কথা বলিয়াছেন ওয়রস্টেড সম্পর্কেও বোধ করি সেই



চিত্র 6.2

কথা খাট্টে—“এইরূপ দৈবঘটনা কেবলমাত্র যোগ্য ব্যক্তিদের ক্ষেত্রেই ঘটে (Such accidents only come to those who deserve them.)।

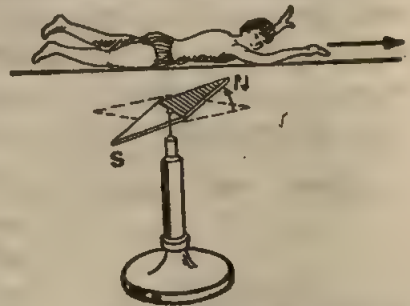
তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ ও চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপের অভিমুখের পারস্পরিক সম্পর্ক কী—এ প্রসঙ্গে ওয়রস্টেড একটি সূত্র দেন।

### 6.2 ওয়রস্টেডের সূত্র (Oersted's rule)

ডান হাতের তালুকে প্রসারিত করিয়া এমনভাবে স্থাপন করা হইল যে, তড়িৎবাহী তারটি চুম্বক-শলাকা ও করতলের মাঝখানে থাকে। বৃদ্ধাস্থি ভিন্ন অন্য আঙ্গুলগুলি তড়িৎ-প্রবাহের দিক নির্দেশ করিলে চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরু প্রসারিত বৃদ্ধাস্থির দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে (চিত্র 6.2)। ইহাকে ওয়রস্টেডের সূত্র বলা হয়।

### 6.3 অ্যাম্পিয়ারের সম্ভরণ সূত্র (Ampere's Swimming rule)

চুম্বকের উপর তড়িৎ-প্রবাহের ক্রিয়া আবিষ্কৃত হইবার পর ফরাসী বিজ্ঞানী অ্যাম্পিয়ার এই বিষয়ে উৎসাহী হইয়া গবেষণা শুরু করেন। তড়িৎ-প্রবাহের ক্রিয়ায় চুম্বক-শলাকা কোন্ দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে সে-সম্বন্ধে অ্যাম্পিয়ারও একটি সূত্র দিয়াছেন। ইহাকে অ্যাম্পিয়ারের সম্ভরণ সূত্র বলা হয়। সূত্রটি নিম্ন-রূপ—

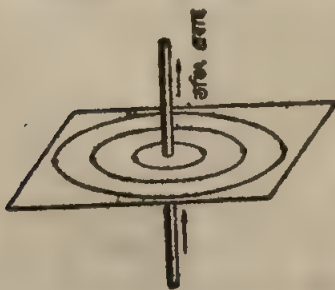


চিত্র 6.3

চুম্বক-শলাকার দিকে মুখ রাখিয়া কোন ব্যক্তি তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখে সাতার কাটিয়া যাইতে থাকিলে তাহার বাম হস্ত যে-দিকে থাকিবে চুম্বক-শলাকার উত্তর-মেরুটি সেই দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে (চিত্র 6.3)।

### 6.4 তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র

একমাত্র চৌম্বক ক্ষেত্রই চুম্বকের বিক্ষেপ ঘটাইতে পারে। কাজেই ওয়রস্টেডের পরীক্ষা-হইতে প্রমাণিত হয় যে, তড়িৎ-প্রবাহ উহার চারিদিকে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে এবং প্রবাহ যতক্ষণ স্থায়ী হয় উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রটিও ততক্ষণই স্থায়ী হয়। লক্ষণীয় যে, তড়িৎবাহী তারটির গায়ে লৌহচূর্ণ ছড়াইয়া দিলেও উহাতে লৌহচূর্ণ লাগিয়া থাকে না। কাজেই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, তড়িৎবাহী তারটি নিজে চুম্বকিত হয় না।



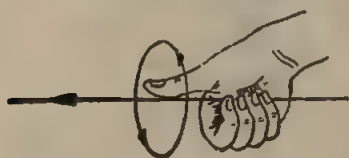
চিত্র 6.4

একটি লম্বা সরল তড়িৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র : একটি সরল তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে উহার চতুর্দিকে যে-চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় তাহার স্বরূপ জানিবার জন্য লৌহচূর্ণের সাহায্যে চৌম্বক বলরেখার

চিত্র অঙ্কন করা যায়। একটি পোস্টকার্ডে একটি ছিদ্র করিয়া উহার মধ্য দিয়া তারটিকে গলাইয়া দিয়া উহাকে পোস্টকার্ডের উপর লম্বভাবে স্থাপন করা হইল। ইহার পর পোস্টকার্ডে কিছুটা লৌহচূর্ণ ছড়াইয়া দেওয়া হইল। বর্তনী সংহত করিয়া পরিবাহী তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। এই পোস্টকার্ডের উপর মৃদু মৃদু আঘাত করিয়া বা টোকা দিয়া লৌহচূর্ণগুলিকে নাড়াইতে থাকিলে দেখা যাইবে যে, লৌহচূর্ণগুলি তড়িৎবাহী তারকে কেন্দ্র করিয়া বৃত্তাকারে সঞ্চিত হইয়াছে। লৌহচূর্ণের এই সজ্জা সরল তড়িৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলরেখার সজ্জা নির্দেশ করিবে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে চৌম্বক বলরেখাগুলি বৃত্তাকার (চিত্র 6.4)। পোস্টকার্ডের কোন স্থানে তারটির নিকট একটি কম্পাস-কাঁটা রাখিলে উহার উত্তর-মেরু যে-দিকে মুখ করিয়া সামান্যস্থান আসিবে সেই দিক চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করিবে।

লক্ষণীয় যে, এক্ষেত্রে চৌম্বক বলরেখাগুলি বৃত্তাকার ও বন্ধমুখ (closed)। অর্থাৎ, ইহাদের শুরু বা শেষ বলিয়া কিছু নাই। সাধারণ চুম্বকের ক্ষেত্রে বলরেখাগুলি বন্ধমুখ নয়, ইহারা চুম্বকের উত্তর-মেরু হইতে আরম্ভ হয় এবং দক্ষিণ-মেরুতে আসিয়া শেষ হয়। এক্ষেত্রে তড়িৎ-প্রবাহ ও বলরেখার অভিমুখের যে-সম্পর্ক পাওয়া যায় তাহা নিম্নোক্ত দুইটি সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

ফ্লেমিং-এর অঙ্গুষ্ঠ সূত্র (Fleming's thumb rule): ডানহাতের অঙ্গুষ্ঠ

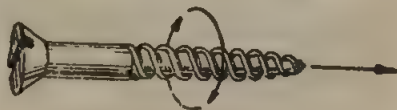


চিত্র 6.5

প্রসারিত করিয়া হাত ঘূর্ণিবদ্ধ করা হইল। অঙ্গুষ্ঠ তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ করিলে অন্য আঙ্গুলগুলির অগ্রভাগ বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করিবে (চিত্র 6.5)।

ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র (Maxwell's cork-screw rule): ডানপাকের

একটি কর্ক-স্ক্রু (right-handed cork-screw) লইয়া উহাকে ঘুরাইলে স্ক্রু যে-দিকে আগাইয়া যায় সেই দিক যদি তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ করে তাহা হইলে ঐ স্ক্রু ঘুরাইতে আঙ্গুলগুলি যে-দিকে ঘোরে তাহা উক্ত তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা উৎপন্ন চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করে (চিত্র 6.6)।



চিত্র 6.6

### 6.5 ল্যাপ্লাসের সূত্র (Laplace's law)

আমরা দেখিলাম যে, তড়িৎবাহী তারের চতুর্দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হয়। অতএব কোন চৌম্বক মেরুকে এইরূপ কোন তারের নিকট আনিলে উহার উপর একটি বল ক্রিয়া করিবে। কোন স্থানে একক মেরুশক্তিসম্পন্ন চুম্বক-মেরুর উপর যে-বল ক্রিয়া করে তাহাই চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য। ল্যাপ্লাসের সূত্র হইতে তড়িৎ-প্রবাহের দ্বারা উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন স্থানের চৌম্বক প্রাবল্য কত তাহা জানা যায়।

মনে করি, কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া  $i$  মানের তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। AB এই পরিবাহীর একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ (চিত্র 6.7)। O এই অংশের মধ্যবিন্দু। তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে P যে-কোন একটি বিন্দু। O হইতে P বিন্দুর দূরত্ব  $r$  হইলে এবং OP রেখা তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখের সহিত  $\theta$ -কোণ করিলে ল্যাপ্লাসের সূত্রানুসারে, চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য,

$$F = \frac{il \sin \theta}{r^2}$$

$$\text{বা, } F = K \cdot \frac{il \sin \theta}{r^2} \quad \dots (6.1)$$

চিত্র 6.7

এখানে K একটি ধ্রুবক। তড়িৎ-প্রবাহের এককের উপর ইহার মান নির্ভর করে।

সমীকরণ (6.1) হইতে দেখা যাইতেছে যে,  $\theta = \frac{\pi}{2}$  হইতে প্রাবল্যের মান সর্বাধিক।

তড়িৎ-প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক (Electromagnetic unit of current) : তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বিচার করিয়া তড়িৎ-প্রবাহের একটি একক স্থির করা হইয়াছে। ইহাকে তড়িৎ-প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক বলা হয়। ইহার সংজ্ঞা নিম্নরূপ—

এক সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যাবিশিষ্ট একটি তারকে এক সেন্টিমিটার ব্যাসার্ধাবিশিষ্ট বৃত্তের আকারে বাঁকাইয়া (চিত্র 6.8) উহার মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে বৃত্তটির কেন্দ্রে অবস্থিত একক মেবুর উপর 1 ডাইন বল ক্রিয়া করে সেই প্রবাহকে তড়িৎ-প্রবাহের এক তড়িচ্চুম্বকীয় একক (e. m. u.) বলা হয়।



চিত্র 6.8

ল্যাপ্লাসের সূত্রে [সমীকরণ (6.1)] প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় এককের এই সংজ্ঞা প্রয়োগ করিয়া দেখা যাইতেছে যে, যখন,

$$i = 1 \text{ cm, } r = 1 \text{ cm এবং } \theta = \frac{\pi}{2} \text{ তখন, } F = 1 \text{ dyne হইলে}$$

$i = 1 \text{ e. m. u. হইবে।}$

$$\text{অর্থাৎ, } 1 = K \cdot \frac{1 \cdot 1 \cdot \sin(\pi/2)}{1^2}$$

[সমীকরণ (6.1) হইতে]

$$\text{বা, } K = 1$$

সুতরাং, প্রবাহকে তড়িচ্চুম্বকীয় এককে প্রকাশ করিলে সমীকরণ (6.1) হইতে

$$\text{লেখা যায়, } F = \frac{il \sin \theta}{r^2} \quad \dots (6.2)$$

অ্যাম্পিয়ার (Ampere) : প্রবাহের উপরি-উক্ত তড়িচ্চুম্বকীয় এককটি পরিমাণে বড় বলিয়া ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ইহার প্রয়োগ অসুবিধাজনক। তাই এক তড়িচ্চুম্বকীয়



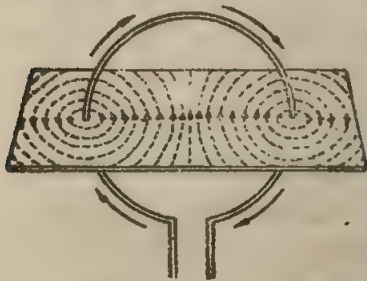
একক তড়িৎ-প্রবাহের এক-দশমাংশকে ব্যবহারিক একক রূপে ব্যবহার করা হয়। এই এককের নাম অ্যাম্পিয়ার। সুতরাং লেখা যায়,

$$1 \text{ অ্যাম্পিয়ার} = \frac{1}{10} \text{ তড়িচ্চুম্বকীয় একক (c.m.u.)}$$

$$\text{বা, } i \text{ অ্যাম্পিয়ার} = \frac{i}{10} \text{ c. m. u.}$$

## 6.6 বৃত্তাকার তড়িৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র

একটি বৃত্তাকার তড়িৎবাহী তার সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে বলরেখা কীরূপ হইবে তাহা দেখিবার জন্য একখণ্ড তারকে বাঁকাইয়া গোল করিয়া এক টুকরা কার্ডবোর্ডের ভিতর

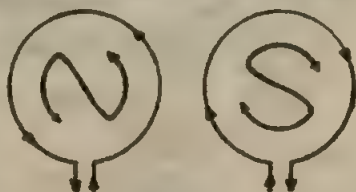


চিত্র 6.9

দেখা যাইবে যে, বৃত্তের কেন্দ্রের নিকট বলরেখাগুলি প্রায় সমান্তরাল এবং ইহার অভিমুখ কুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর। তারের কাছাকাছি বলরেখাগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্তাকারে সজ্জিত থাকে (চিত্র 6.9)।

অসৃষ্ট সূত্র বা কর্ক-জু সূত্র প্রয়োগ করিয়া সহজেই দেখা যায় যে, যে-দিক হইতে তারের প্রবাহকে দক্ষিণাবর্তী (clockwise) মনে হয় সেই পৃষ্ঠে বলরেখাগুলি প্রবেশ করে এবং যে-দিক হইতে তারের প্রবাহকে বামাবর্তী (anticlockwise) মনে হয় সেই পৃষ্ঠ হইতে বলরেখাগুলি বাহির হইয়া আসে।

লক্ষণীয় যে, তড়িৎবাহী বৃত্তাকার তারকে একটি পাতলা চাকতি চুম্বকরূপে কল্পনা করা যায়। ইহার দুই পৃষ্ঠে দুইটি চৌম্বক মেয় বিদ্যমান। যেদিক হইতে তারের প্রবাহকে দক্ষিণাবর্তী মনে হয় সেই পৃষ্ঠে উহার দক্ষিণ-মেয় (S-pole) এবং যেদিক হইতে তারের প্রবাহকে বামাবর্তী মনে হয় সেই পৃষ্ঠে উত্তর-মেয় (N-pole) রহিয়াছে এইরূপ মনে করা যায় (চিত্র 6.10)।



চিত্র 6.10

বৃত্তাকার তড়িৎবাহী তারের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য :  $r$  cm ব্যাসার্ধের কোন তার কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া  $i$  c. m. u. তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হইবে তাহা ল্যাম্বার্টের সূত্র হইতে জানা যায়।

ল্যাম্বাসের সূত্র হইতে আমরা জানি যে,  $F = il \sin \theta / r^2$  (সমীকরণ 6.2 হইতে)

এখানে  $\theta = \pi/2$ ,  $l = 2\pi r$

সুতরাং, বৃত্তাকার তড়িৎবাহী তারের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য

$$F = \frac{i \times 2\pi r \times \sin \pi/2}{r^2} = \frac{2\pi i}{r} \quad \dots (6.3)$$

কুণ্ডলীতে  $n$ -সংখ্যক পাক থাকিলে উহার কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান হইল

$$F = \frac{2\pi ni}{r} \quad \dots (6.4)$$

এখানে তড়িৎ-প্রবাহ  $i$ -কে c. m. u.-তে প্রকাশ করা হইয়াছে।

### 6.7 চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত তড়িৎবাহী তারের উপর ক্রিয়াশীল বল

মনে করি, AB একটি তড়িৎবাহী তারের ক্ষুদ্র অংশ (চিত্র 6.11)। ইহার দৈর্ঘ্য  $l$  এবং ইহার মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ যাইতেছে তাহার মান  $i$  c. m. u.। এই পরিবাহী হইতে  $r$  দূরত্বের কোন বিন্দু P-তে  $m$  মেরুশক্তিসম্পন্ন একটি চুম্বক-মেরু রাখা হইল। ল্যাম্বাসের সূত্রানুসারে উক্ত চুম্বক-মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$$F = \frac{mil \sin \theta}{r^2} \quad \dots (i)$$

চিত্র 6.11

নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে, তড়িৎবাহী তারের উপরও একই মানের প্রতিক্রিয়া বল ক্রিয়া করিবে। এখন, পরিবাহী তারটি যে-অবস্থানে রাখিয়াছে  $m$ -মেরুর জন্য সেই স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য,  $H = m/r^2$  ... (ii)

কাজেই, তড়িৎবাহী তারের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান

$$F = iHl \sin \theta \quad [\text{সমীকরণ (i) ও (ii) হইতে}] \quad \dots (iii)$$

চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য (H) তড়িৎবাহী তারের লম্বাভিমুখী ক্রিয়াশীল হইলে  $\theta = 90^\circ$ । সেক্ষেত্রে, সমীকরণ (iii) হইতে লেখা যায়,

$$F = iHl \quad \dots (6.5)$$

এই বল  $i$  এবং  $H$ -এর অভিমুখের সাহিত লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

### ● সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী ●

**উদাহরণ 6.1** 20টি পাকবিশিষ্ট এবং 15 cm গড় ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 3A তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হইবে?

**সমাধান :** কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য,  $F = \frac{2\pi ni}{r}$

এখানে  $n$  = কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা = 20,  $r$  = কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ = 15 cm এবং  $i$  = তড়িৎ-প্রবাহ (c.m.u. এককে)

প্রথমে শর্তানুসারে,  $i = 3A = 0.3 \text{ e.m.u.}$

$$\text{কাজেই, } F = \frac{2\pi ni}{r} = \frac{2 \times 3.14 \times 20 \times 0.3}{15} \text{ oersteds}$$

$$= 2.51 \text{ oersteds}$$

**উদাহরণ 6.2** 100টি পাকবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 3.5 A তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান 8.8 oersteds হইলে কুণ্ডলীর গড় ব্যাস নির্ণয় কর।

**সমাধান :** কোন বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য,

$$F = \frac{2\pi ni}{r} \quad \dots (i)$$

এখানে  $n$  = কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা,  $r$  = কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ এবং  $i$  হইল e.m.u.-তে কুণ্ডলীর তড়িৎ-প্রবাহ।

সমীকরণ (i) হইতে পাই,

$$r = \frac{2\pi ni}{F} \quad \dots (ii)$$

এখানে  $F = 8.8 \text{ oersteds}$ ,  $n = 100$ ,  $i = 3.5 A = 0.35 \text{ e.m.u.}$

(ii) নং সমীকরণে  $F$ ,  $n$  এবং  $i$ -এর মান বসাইয়া লেখা যায়,

$$r = \frac{2 \times 3.14 \times 100 \times 0.35}{8.8} = 25 \text{ cm}$$

কাজেই, কুণ্ডলীর গড় ব্যাস,  $d = 2r = 2 \times 25 \text{ cm} = 50 \text{ cm}$

**উদাহরণ 6.3** একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 3.5 A তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। উহার কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য 6.6 ওয়রস্টেড। কুণ্ডলীর গড় ব্যাসার্ধ 10 cm হইলে কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা নির্ণয় কর।

**সমাধান :** কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য,  $F = 6.6 \text{ ওয়রস্টেড}$

$$\text{আমরা জানি যে, } F = \frac{2\pi ni}{r} \quad \dots (i)$$

এখানে,  $i = 3.5 A = 0.35 \text{ e.m.u.}$ ,  $r = 10 \text{ cm}$

সমীকরণ (i) হইতে লেখা যায়,

$$6.6 = \frac{2\pi n \times 0.35}{10}$$

$$\text{বা, } n = \frac{6.6 \times 10}{2\pi \times 0.35} = 30$$

**উদাহরণ 6.4** একটি বৃত্তাকার তার-কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা 50 এবং ব্যাস 20 cm। কুণ্ডলীর তারের ব্যাস 0.2 mm এবং রোধাক্ষ  $2 \times 10^{-8} \text{ ohm-cm}$ । কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে কী মানের বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে কুণ্ডলীর তড়িৎ-প্রবাহের দ্বারা উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশকে (H) প্রতিমিত করিতে সক্ষম হইবে? ধরিয়া লও যে,  $H = 0.314 \text{ ওয়রস্টেড}$ ।

**সমাধান :** তার-কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ,  $r = 10 \text{ cm}$

এবং কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা,  $n = 50$

$$\therefore \text{কুণ্ডলিতে ব্যবহৃত তারের দৈর্ঘ্য, } l = (2\pi R) n \\ = 2\pi \times 10 \times 50 \text{ cm} = 1000\pi$$

$$\text{তারের প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ} = 0.01 \text{ cm}$$

$$\therefore \text{তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, } A = \pi r^2 = \pi \times (0.01)^2 \text{ cm}^2$$

$$\text{তারের উপাদানের রোধাঙ্ক, } \rho = 2 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}$$

$$\text{কাজেই, কুণ্ডলীর তারের রোধ, } = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

$$= 2 \times 10^{-6} \times \frac{1000 \pi}{\pi (0.01)^2} \text{ ohm} = 20 \text{ ohm}$$

কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া  $i$  e. m. u. তড়িৎ-প্রবাহ গেলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য হইবে

$$F = \frac{2\pi ni}{r} = \frac{2\pi \times 50 \times i}{10} = 10\pi i \text{ ওয়বস্টেড।}$$

এখন  $F$ -এর মান  $H$ -এর সমান হইলে এবং  $F$ -এর অভিমুখ  $H$ -এর বিপরীতমুখী হইলে  $F$ -এর প্রভাবে  $H$  প্রতিরোধিত হইবে। অর্থাৎ,  $F = H$

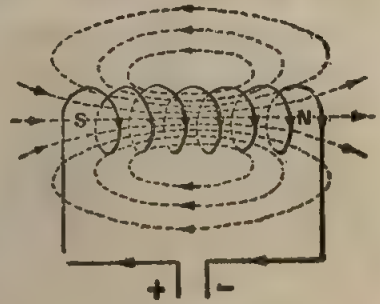
$$\text{কিন্তু প্রশ্নানুসারে, } H = 0.314 \text{ oersted}$$

$$\text{অর্থাৎ, } 10\pi i = 0.314$$

$$\text{বা, } i = \frac{0.314}{10\pi} \text{ e. m. u.} = 0.01 \text{ e. m. u.} = 0.1 \text{ A}$$

## 6.8 সলেনয়েড (Solenoid)

দীর্ঘ একটি তারকে স্থিৎ-এর ন্যায় প্যাঁচাইয়া বেলনাকৃতি করিলে উহাকে সলেনয়েড বলা হয়। তড়িৎবাহী সলেনয়েডের প্রত্যেক পাককে এক-একটি চাক্রিত-চুম্বক মনে করা যাইতে পারে। ইহাদের দুই প্রান্তে দুইটি বিপরীতধর্মী চৌম্বক মেরু থাকে। এই পাকগুলি পাশাপাশি সজ্জিত বলিয়া সলেনয়েডের মধ্যবর্তী অঞ্চলে ঐ মেরুগুলি পরস্পর পরস্পরকে নাকচ করিয়া দেয়, ফলে উহার দুই প্রান্তেই কেবলমাত্র মেরু-ধর্ম থাকে। সুতরাং, কার্যত সলেনয়েড একটি বেলনাকৃতি চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। ইহা পরীক্ষা দ্বারা সহজেই দেখান যায়। 6.12 নং চিত্রে তড়িৎবাহী সলেনয়েডের চতুর্দিকে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা অঙ্কিত হইয়াছে।



চিত্র 6.12

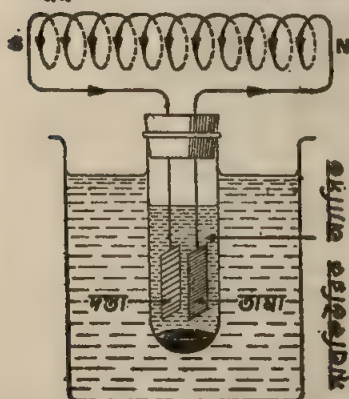
## 6.9 ড়া লা রিভের ভাসমান কোষ

(De La Rive's floating battery)

তড়িৎবাহী সলেনয়েড যে-চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে দ্য লা রিভের ভাসমান ব্যাটারীর সাহায্যে তাহা প্রমাণ করা যায়। ইহাতে একটি পাতলা কাচের টেস্ট টিউব বা পরখ-নলে কিছু পরিমাণ লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণ লওয়া হয় (চিত্র 6.13)।



ইহাতে একটি তামার ও একটি দস্তার পাত ডুবান থাকে। একটি সলেনয়েডের অক্ষকে অনুভূমিক রাখিয়া উহার দুই প্রান্ত পরস্পর-নলের মুখে লাগান কর্কের ছিঁপির মধ্য দিয়া



চিত্র 6.13

আকর্ষণ বা বিকর্ষণ লক্ষ্য করা যাইবে। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, তড়িৎবাহী সলেনয়েডটি একটি চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। সলেনয়েডের যে-প্রান্তে তড়িৎ-প্রবাহ বামাবর্তী সেই প্রান্তে কোন দণ্ড-চুম্বকের উত্তর-মেরু আনিলে বিকর্ষণ লক্ষ্য করা যাইবে। অর্থাৎ, সলেনয়েডের ঐ প্রান্তে উত্তর মেরু বিদ্যমান।

## 6.10 তড়িৎ-প্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া

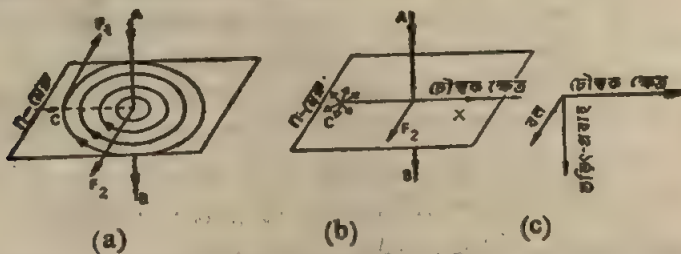
(Action of magnet on current)

আমরা জানি, কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিলে উহার চতুর্দিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন স্থানে একটি চুম্বক-মেরু থাকিলে উহার উপর একটি বল ক্রিয়া করিবে। নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে, প্রতিটি বলেরই একটি সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া রহিয়াছে। সুতরাং, তড়িৎ-প্রবাহের নিকট একটি চুম্বক-মেরু রাখিলে চুম্বকটি যেমন একটি বলের অধীন হইবে, তড়িৎবাহী তারটিও তেমনি চুম্বক-মেরু কর্তৃক প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ামণীন হইবে। চুম্বকটি যদি স্থির থাকে এবং তড়িৎবাহী তারটি যদি অবাধে চলনক্ষম হয় তাহা হইলে চুম্বকের ক্রিয়ায় তারটি বিক্ষিপ্ত হইবে। ইহাই তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া।

তড়িৎবাহী তারের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কোন দিকে বল প্রয়োগ করিবে তাহা নানাভাবে বুঝা যায়। নিম্নে আমরা দুইটি পদ্ধতিতে এই বলের অভিমুখ স্থির করিবার উপায় আলোচনা করিব।

(i) নিউটনের তৃতীয় সূত্রের সাহায্যে : মনে করি, একটি সরল পরিবাহী AB-এর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। তারটি উল্লম্ব অবস্থায় রহিয়াছে এবং উহার প্রবাহ উপর হইতে নিচের দিকে। কোন অনুভূমিক তলে তড়িৎ-প্রবাহ-কর্তৃক প্রতিষ্ঠিত চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা কীৰূপ হইবে তাহা ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র হইতে বুঝা যায়। উক্ত অনুভূমিক তলের কোন একটি বিন্দু C-তে একটি উত্তর-মেরু রাখা হইল। ইহার

উপর ক্রিয়াশীল বলের অভিমুখ উক্ত বিস্মৃগামী বলরেখার উপর স্পর্শক বরাবর। 6.14 (a) চিত্রে N মেবুর উপর ক্রিয়াশীল বলকে  $F_1$  দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে। নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে,  $F_1$  বলের প্রতিক্রিয়া তড়িৎবাহী তারটির উপর ক্রিয়া করিবে। চিত্রে এই বলকে  $F_2$  দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে।

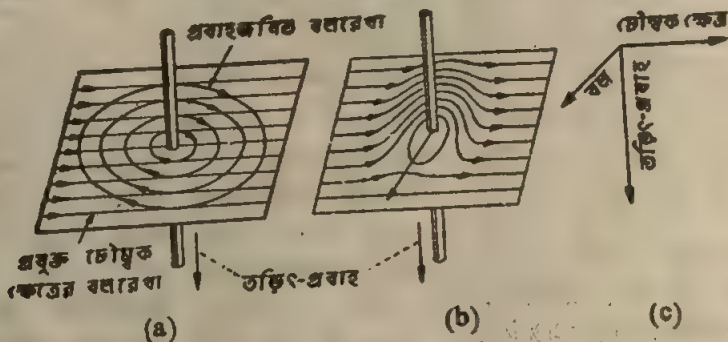


চিত্র 6.14

প্রস্তুত চৌম্বক ক্ষেত্রের তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখের সহিত তড়িৎবাহী তারের উপর ক্রিয়াশীল বলের অভিমুখের সম্পর্ক কী তাহা বুঝিবার জন্য 6.14 (b) চিত্রটি বিবেচনা করা যাক।  $n$ -মেবু হইতে উৎপন্ন যে-বলরেখা তড়িৎবাহী তারটির মধ্য দিয়া গিয়াছে তাহার ক্রিয়া CX-অভিমুখে। লক্ষ্য কর যে,  $F_2$ , CX এবং AB পরস্পর সমকোণে বিদ্যমান। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে তড়িৎ-প্রবাহ, চৌম্বক ক্ষেত্র এবং তড়িৎবাহী তারের উপর প্রস্তুত বল পরস্পর লম্বভাবে অবস্থিত [ চিত্র 6.14 (c) ]।

(ii) চৌম্বক বলরেখার সাহায্যে : আমরা জানি যে, চৌম্বক বলরেখা স্থিতিস্থাপক সূত্র ন্যায় আচরণ করে। চৌম্বক ক্ষেত্রের এই ধর্ম মনে রাখিলে সহজেই তড়িৎবাহী তারের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায়।

সমপ্রাবল্যাবিশিষ্ট একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত একটি পরিবাহী তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ধরা যাক, একটি তড়িৎবাহী তার উল্লম্বভাবে অবস্থিত এবং উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ উপর হইতে নিচের দিকে বাইতেছে। 6.15 (a) নং চিত্রে বাহির হইতে প্রস্তুত চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা এবং



চিত্র 6.15

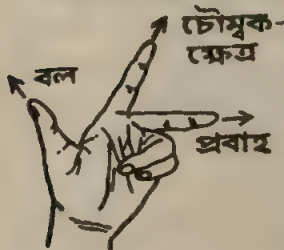
তড়িৎ-প্রবাহ-কর্তৃক উৎপন্ন বৃত্তাকার বলরেখা দেখান হইয়াছে। লক্ষ্য কর যে, তড়িৎ-

বাহী তারের এক পার্শ্বে (চিত্রে পশ্চাতের দিকে) এই দুই চৌম্বক ক্ষেত্র পরস্পর সম্মুখী এবং অন্য পার্শ্বে (চিত্রে সম্মুখের দিকে) এই দুই চৌম্বক ক্ষেত্র পরস্পর বিপরীতমুখী। ফলে লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী তারের এক পার্শ্বে চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাগুলির ঘনত্ব বৃদ্ধি পাইবে এবং বলরেখাগুলি বক্রাকার হইবে। অপর পার্শ্বে বলরেখার ঘনত্ব কমিয়া যাইবে [চিত্র 6.15 (b)]। বলরেখাগুলি স্থিতিস্থাপক সূতার ন্যায় ক্রিয়া করে বলিয়া ঘনভাবে সন্নিবিষ্ট বক্রাকার রেখাগুলি সোজা হইতে চাহিবে, ফলে তড়িৎবাহী তারের উপর বল প্রযুক্ত হইবে। লক্ষণীয় যে, তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ক্ষেত্রের এবং তড়িৎবাহী তারের উপর প্রযুক্ত বলের অভিমুখ পরস্পর লম্ব [চিত্র 6.15(c)]।

তড়িৎ-প্রবাহ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সহিত তড়িৎবাহী তারের উপর প্রযুক্ত বলের অভিমুখের সম্পর্ক কী তাহা ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র হইতে পাওয়া যায়।

ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত মোটর সূত্র (Fleming's left hand motor rule) :

বাম হস্তের অঙ্গুলী, তর্জনী ও মধ্যমা লম্বভাবে রাখিয়া তড়িৎবাহী তারের উপর প্রসারিত করা হইল। এই সময় যদি মধ্যমা তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ এবং তর্জনী চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ নির্দেশ করে তাহা হইলে অঙ্গুলী তারটির উপর ক্রিয়াশীল বলের অভিমুখ নির্দেশ করিবে (চিত্র 6.16)। ইহাকে ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র বলা হয়।



চিত্র 6.16

চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী তারের উপর ক্রিয়াশীল বলের সাহায্যেই বৈদ্যুতিক মোটর ঘোরে।

কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত কোন তড়িৎবাহী আর্মেচার কোন্ দিকে ঘুরিবে তাহা এই সূত্র হইতে জানা যায় বলিয়া ইহাকে বাম হস্ত মোটর সূত্রও বলা হয়।

## 6.11 চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী তারের ঘূর্ণন

তড়িৎ-প্রবাহের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া দেখাইবার জন্য একটি সহজ পরীক্ষা করা যায়। ইহাতে একটি চুম্বক-মেরুর ক্রিয়ায় একটি তড়িৎবাহী তার উহার চারিদিকে ঘুরিতে থাকে। সর্বপ্রথম এই পরীক্ষাটি করেন বিজ্ঞানী ফ্যারাডে।

একটি কাচের নলের দুইটি মুখ ছিপির দ্বারা বন্ধ করা হইল। নিচের ছিপিটির মধ্য দিয়া একটি দীর্ঘ দণ্ড-চুম্বকের উত্তর-মেরু (কিংবা দক্ষিণ-মেরু) প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হইল [চিত্র 6.17 (a)]। উপরের ছিপি হইতে একটি ধাতব আটোর সাহায্যে একটি পরিবাহী তার, AB ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। নিচের ছিপির উপরে কিছুটা পারদ থাকে। AB তারের নিচের প্রান্তটি ঐ পারদে ঠেকিয়া থাকে। নলের ছিপি দুইটির মধ্য দিয়া সংযোগকারী তার প্রবেশ করান থাকে। ইহাদের সহিত ব্যাটারী যুক্ত করিয়া AB তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে তারটি উত্তর-মেরুর চারিদিকে ঘুরিতে থাকিবে। তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ বিপরীতমুখী করিলে তারের ঘূর্ণনও বিপরীতমুখী হইবে।

তারটি কোন দিকে ঘুরবে তাহা ফ্রেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র হইতে বুঝা যায়। 6.17(b) নং চিত্রে চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ, তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ ও পরিবাহীর উপর ক্রিয়াশীল



চিত্র 6.17(a)



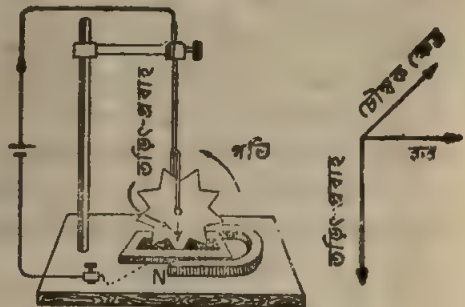
চিত্র 6.17(b)

বলের অভিমুখ দেখান হইয়াছে। এই বলের অভিমুখ দ্বারাই তারের ঘূর্ণনের অভিমুখ নির্ধারিত হয়।

## 6.12 বারলো'র চক্র (Barlow's wheel)

তড়িৎ-প্রবাহের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া প্রদর্শনের জন্য আর একটি সুন্দর ব্যবস্থা হইল বারলো'র চক্র। ইহাতে কয়েকটি দাঁতিবিশিষ্ট একটি ধাতব চক্র থাকে (চিত্র 6.18)। ইহাকে একটি পরিবাহী দণ্ডের সাহায্যে উল্লম্বভাবে বুলাইয়া দেওয়া হয়। একটি অনুভূমিক অক্ষ বেড়িয়া চক্রটি অবাধে ঘুরিতে পারে। এই যন্ত্রের পাটাতনটি কার্ঠের তৈয়ারী। ইহাতে একটি সরু লম্বা গর্ত থাকে। এই গর্তটি পারদপূর্ণ রাখা হয়। চক্রটি উহার অক্ষে ঘুরিবার সময় চক্রের দাঁতগুলি একের পর এক পারদের সংস্পর্শে আসে। পারদপূর্ণ গর্তটির দুই পার্শ্বে থাকে একটি অক্ষক্ষুরাকৃতি চুম্বকের দুই মেৰু।

চক্রটির অক্ষের সহিত তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক তড়িদ্বার এবং পারদের সহিত উহার ঋণাত্মক তড়িদ্বার যুক্ত করিলে চক্রের কেন্দ্রে হইতে পারদের দিকে (অর্থাৎ নিচের দিকে) তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে। চাকার দুই পার্শ্বে চুম্বকের দুই মেৰু রহিয়াছে বলিয়া চৌম্বক ক্ষেত্র তড়িৎ-প্রবাহের অভিলম্বে ক্রিয়াশীল। এই অবস্থায় তড়িৎবাহী দাঁতের উপর কোন দিকে বল প্রযুক্ত হইবে ফ্রেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র হইতে উহা বুঝা যায়। চিত্রে চক্রের ঘূর্ণনের অভিমুখ তীরচিহ্নের সাহায্যে দেখান হইয়াছে। কোন চুম্বক-19



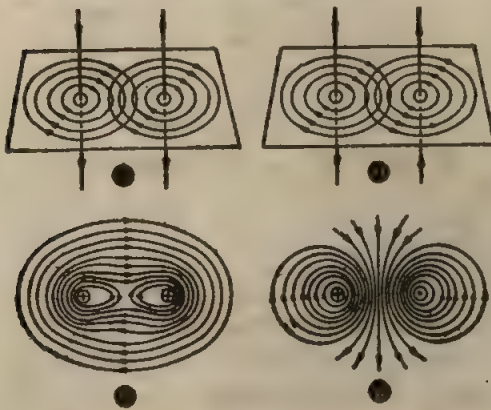
চিত্র 6.18



নির্দিষ্ট মুহূর্তে চক্রের যে-দাঁত পারস্পরিক সংস্পর্শে আসে বলের প্রভাবে উহা সরিয়া গেলে কণিকের জন্য বর্তনী ছিন্ন হয়। গতিজ্বাডের জন্য পরের দাঁত আসিয়া পারস্পর্শ করে, ফলে পুনরায় বর্তনী সংহত হয়। ইহাতে চক্রের ঘূর্ণন বজায় থাকে। তড়িৎ-প্রবাহ বাড়াইলে চক্রের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান বাড়িবে। ফলে চক্রের কৌণিক বেগ বৃদ্ধি পাইবে। তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ উল্টাইলে চক্রটিও বিপরীত দিকে ঘুরিতে থাকে।

### 6.13 দুইটি তড়িৎ-প্রবাহের পারস্পরিক ক্রিয়া (Action of current on current)

তড়িৎবাহী তারের চারিদিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। কাজেই, দুইটি তড়িৎবাহী তার পাশাপাশি থাকিলে একে অন্যের চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে পড়িবে, ফলে ইহাদের



চিত্র 6.19

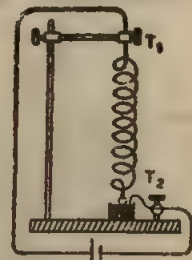
যে, তার দুইটির প্রবাহ একই দিকে হইলে উহারা পরস্পরকে আকর্ষণ করিবে এবং প্রবাহ বিপরীতমুখী হইলে উহারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করিবে।

দুইটি তড়িৎবাহী তারের চতুর্দিকে লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্রের স্বরূপ বিচার করিয়াও ইহাদের পারস্পরিক ক্রিয়া বুঝা যায়। দুইটি সমান্তরাল তারের মধ্য দিয়া যখন একই অভিমুখে (উভয় তারেই দর্শক হইতে অপসূরমান) তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে তখন লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাগুলি কীরূপ হইবে তাহা 6.19 (C) নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। এক্ষেত্রে অধিকাংশ বলরেখাই উভয় তারকে বেঁটন করিয়া থাকে। বলরেখাগুলির সংকোচন-প্রবণতার জন্য তার দুইটি পরস্পরের দিকে আকৃষ্ট হইবে। তার দুইটির প্রবাহ বিপরীতমুখী হইলে লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা কীরূপ হইবে তাহা 6.19 (D) নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। দেখা যাইতেছে যে, এক্ষেত্রে উভয় তড়িৎবাহী তারকে বেঁটন করিয়া আছে এইরূপ কোন বলরেখা নাই। চৌম্বক বলরেখাগুলি পরস্পরের উপর পার্শ্বীয় বিকর্ষণ বল (lateral repulsion) প্রয়োগ করে বলিয়া এক্ষেত্রে তড়িৎবাহী তারদ্বয় পরস্পরকে দূরে ঠেলিয়া দিবে।

উভয়ের উপর বল ক্রিয়া করিবে। 6.19 নং চিত্রে দুইটি সমান্তরাল তড়িৎবাহী তার দেখান হইয়াছে। 6.19 (A) নং চিত্রে উভয়ের প্রবাহ একই দিকে এবং 6.19 (B) নং চিত্রে উভয়ের প্রবাহ বিপরীত দিকে। তার দুইটি একে অন্যের উপর যে-বল প্রয়োগ করিবে ফ্রেমিং-এর বাম হস্ত সূত্রের সাহায্যে উহাদের অভিমুখ নির্ণয় করা যাইবে। সহজেই বুঝা যায়

### 6.14 রোজের কম্পমান স্প্রিং (Rogee's vibrating spiral)

এই ব্যবস্থার সাহায্যে সুন্দরভাবে সমান্তরাল তড়িৎ-প্রবাহের আকর্ষণ দেখান যায়। একটি তামার তৈরী প্যাচান স্প্রিং লইয়া একটি বকনীর  $T_1$  হইতে উহাকে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। স্প্রিংটির নিচের প্রান্তে একটি ধাতব বল লাগান থাকে। সাধারণ অবস্থায় এই বলটি স্প্রিং-এর নিচে একটি পাতের পারদ স্পর্শ করিয়া থাকে। যন্ত্রের পাটাতনের একটি বকনীর  $T_2$ -এর সহিত পাতের পারদের বৈদ্যুতিক সংযোগ রাখিয়াছে।  $T_1$  এবং  $T_2$ -এর সহিত একটি ব্যাটারীর দুই তড়িদ্বার যুক্ত করিয়া বর্তনী সংহত করিলে স্প্রিংটি উঠানামা করিতে থাকিবে।



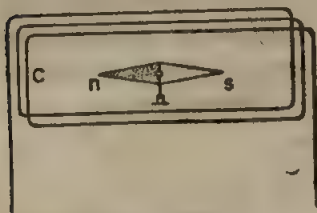
চিত্র 6.20

ব্যাখ্যা : স্প্রিং-এর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিলে উহার প্রতিটি পাকের তার সমিহিত অপর তারকে আকর্ষণ করে, কেননা, উহাদের প্রবাহ একই দিকে। ইহার ফলে স্প্রিংটি সংকুচিত হয়। এই সংকোচনের ফলে স্প্রিং-এর নিম্নস্থ ধাতব বল পাতের পারদ হইতে উঠিয়া আসে, ফলে বর্তনী ছিন্ন হয়। বর্তনী ছিন্ন হইলে কুণ্ডলীর পাকগুলির মধ্যে আর কোন আকর্ষণ থাকে না, স্প্রিংটি উহার স্থিতিস্থাপকতার জন্য এবং ধাতব বলের টানে নিচে নামিয়া আসে। ইহাতে পুনরায় বর্তনী সংহত হয় এবং প্রবাহ চলে। ইহার ফলে পুনরায় কুণ্ডলী সংকুচিত হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত  $T_1$  এবং  $T_2$  বকনীর দুইটি ব্যাটারীর সহিত যুক্ত থাকে ততক্ষণ স্প্রিং-এর কুণ্ডলী এইরূপ কম্পিত হইতে থাকে।

### 6.15 গ্যালভানোস্কোপ (Galvanoscope)

কোন তড়িৎবাহী তারের নিকট চুম্বক-শলাকা থাকিলে উহা সাধারণত বিক্লিপ্ত হয়। তড়িৎ-প্রবাহের এই ক্রিয়ার সাহায্যে কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ চলিতেছে কিনা বুঝা যায়। এই উদ্দেশ্যে একটি সরল যন্ত্র উদ্ভাবিত হইয়াছে। এই যন্ত্রকে চল-চুম্বক গ্যালভানোস্কোপ (moving magnet galvanoscope) বলা হয়।

এই যন্ত্রে একটি চুম্বক-শলাকাকে অচৌম্বক পদার্থের তৈরী একটি আলসের (pivot) উপর রাখা হয় এবং উহাকে ঘিরিয়া থাকে কয়েক পাকের একটি তারকুণ্ডলী (চিত্র 6.21)। এই তারকুণ্ডলীকে চৌম্বক মধ্যতলের সমান্তরালভাবে স্থাপন করা হয়। কাজেই স্বাভাবিক অবস্থায় কুণ্ডলীতল ও চুম্বক-শলাকার অক্ষ একই উল্লম্বতলে অবস্থান করে। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার দরুন বে-চুম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় তাহার অভিমুখ কুণ্ডলীতলের সমকোণে থাকে। কুণ্ডলীতল চৌম্বক মধ্যতলে থাকায় প্রবাহজনিত চৌম্বক ক্ষেত্র ও ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র পরস্পর সমকোণে ক্রিয়া করে। ইহাদের যুগপৎ ক্রিয়ায় চুম্বক-শলাকা



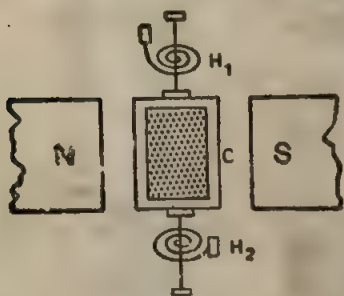
চিত্র 6.21

ও ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র পরস্পর সমকোণে ক্রিয়া করে। ইহাদের যুগপৎ ক্রিয়ায় চুম্বক-শলাকা

কিছুটা বিক্ষিপ্ত হইয়া সাম্যে আসে। কাজেই, চুম্বক-শলাকার বিচলন তড়িৎ-প্রবাহের অস্তিত্ব প্রমাণ করে।

আরও একপ্রকার তড়িৎ-সম্বানী যন্ত্র রহিয়াছে। চৌম্বক ক্ষেত্রে সঞ্চিত কোন ঘূর্ণনক্ষম কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ঐ কুণ্ডলী ঘুরিয়া যায়। এই ধর্মের সাহায্যে চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোস্কোপ (moving coil galvanoscope) নির্মাণ করা হইয়াছে।

একটি U-আকৃতির বা অন্য কোন আকৃতির চুম্বকের দুই মেঘুর মাঝামাঝি একটি ঘূর্ণনক্ষম কুণ্ডলী বসাইয়া উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে কুণ্ডলীটি ঘুরিতে



চিত্র 6.22

চাহিবে। কুণ্ডলীর অক্ষদণ্ডের সাহিত দুইটি হেয়ার-স্প্রিং ( $H_1$  এবং  $H_2$ ) লাগান থাকে (চিত্র 6.22)। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে কুণ্ডলীর ঘূর্ণন সৃষ্টি হইলে এই স্প্রিং একটি নিয়ন্ত্রক দ্বন্দ্বের (controlling torque) সৃষ্টি করে। ফলে নির্দিষ্ট বিক্ষেপের পর কুণ্ডলী সাম্যে আসে।

উভয় পাখের বিক্ষেপ নিয়ন্ত্রিত করিবার জন্য দুইটি স্প্রিং ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রে কুণ্ডলীর সাহিত একটি সূচক লাগান থাকে। প্রবাহের

তীব্রতা অনুযায়ী ইহার কম-বেশি বিক্ষেপ ঘটে। এই বিক্ষেপ লক্ষ্য করিয়া তড়িৎ-প্রবাহের অস্তিত্ব জানা যায়।

উপরে যে-দুইটি গ্যালভানোস্কোপের বর্ণনা করা হইল উহাদের সাহায্যে কেবলমাত্র তড়িৎ-প্রবাহের অস্তিত্ব জানা যায়, কিন্তু ঐ তড়িৎ-প্রবাহ পরিমাপ করা যায় না। যে-যন্ত্রে চুম্বক-শলাকা বা কুণ্ডলীর বিচলন দেখিয়া তড়িৎ-প্রবাহের মান জানা যায় সেই যন্ত্রকে গ্যালভানোমিটার বলে।

### 6.16 গ্যালভানোমিটার (Galvanometer)

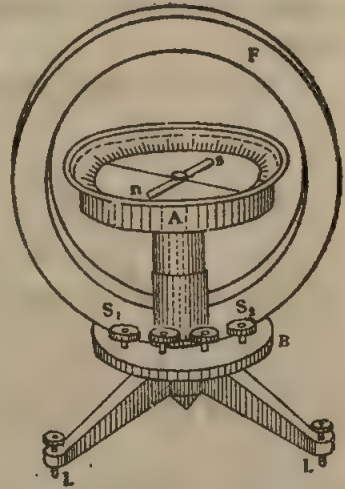
গ্যালভানোমিটার একটি তড়িৎচুম্বকীয় যন্ত্র। ইতালীয় বিজ্ঞানী গ্যালভানীর নামানুসারে ইহার এইরূপ নামকরণ করা হইয়াছে। গ্যালভানোমিটার পরীক্ষাগারের পক্ষে একটি অতি প্রয়োজনীয় যন্ত্র। কোন তড়িৎ-বর্তনীতে প্রবাহের অস্তিত্ব জানিবার জন্য বা ইহার মান নির্ণয় করিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। এই জাতীয় যন্ত্রে একটি চুম্বক এবং একটি তার-কুণ্ডলী থাকে। এই দুই অংশের একটি ঘূর্ণনক্ষম (movable) অবস্থায় এবং অপরটি স্থির অবস্থায় থাকে। চুম্বক এবং কুণ্ডলীর প্রবাহের দ্বারা উদ্ভূত চৌম্বক ক্ষেত্রের পারস্পরিক ক্রিয়ায় যন্ত্রের ঘূর্ণনক্ষম অংশে বিক্ষেপের সৃষ্টি হয়। এই বিক্ষেপ হইতে বর্তনীতে প্রবাহের অস্তিত্ব জানা যায় এবং বিক্ষেপ সূক্ষ্মভাবে পরিমাপ করিবার সুব্যবস্থা থাকিলে তড়িৎ-প্রবাহের মানও নির্ণয় করা যায়।

এই জাতীয় যন্ত্রগুলিকে দুইটি শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়—

(i) চল-চুম্বক শ্রেণীর গ্যালভানোমিটার (moving magnet type galvanometer), (ii) চল-কুণ্ডলী শ্রেণীর গ্যালভানোমিটার (moving coil type galvanometer)। চল-চুম্বক শ্রেণীর গ্যালভানোমিটারে কুণ্ডলীটি স্থির অবস্থায় থাকে কিন্তু

চুম্বকটি ঘূর্ণনক্ষম হয়। চল-কুণ্ডলী শ্রেণীর যন্ত্রে কুণ্ডলীটি ঘূর্ণনক্ষম, কিন্তু চুম্বকটি স্থির। নিম্নে আমরা একটি চল-চুম্বক শ্রেণীর এবং একটি চল-কুণ্ডলী শ্রেণীর যন্ত্র সম্পর্কে বিস্তারিত আলোচনা করিব।

(i) ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার (Tangent galvanometer) : ইহা একটি চল-চুম্বক শ্রেণীর গ্যালভানোমিটার। চুম্বকের উপর তড়িৎ-প্রবাহের ক্রিয়ার ভিত্তিতে এই যন্ত্রের কার্যনীতি প্রতিষ্ঠিত। 6.23 নং চিত্রে ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বিভিন্ন অংশ দেখান হইয়াছে। ইহা কে একটি বৃত্তাকার কাঠের ফ্রেমের (F) উপর অঙ্কিত একটি তার বহু সংখ্যক পাকে জড়ান থাকে। এই তারের দুই প্রান্ত অনুভূমিক পাটাতন B-এর উপর আটকানো দুই বন্ধনীর সহিত যুক্ত করা থাকে। তার জড়ান কাঠের ফ্রেম (F) একটি উল্লম্ব অক্ষ বেড়িয়া ঘুরিতে পারে। B-পাটাতনে একটি বৃত্তাকার স্কেল থাকে। তার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে একটি ছোট চুম্বক-শলাকা রাখা হয়। চুম্বক-শলাকাটি একটি কাচের



চিত্র 6.23



চিত্র 6.24

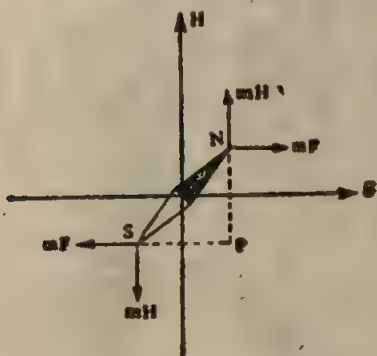
ঢাকনাযুক্ত বৃত্তাকার চ্যাপ্টা বাস A-এর কেন্দ্রে বিমুদে এমনভাবে আটকান থাকে যাহাতে ইহা অনুভূমিক তলে অবস্থে ঘুরিতে পারে। চুম্বক-শলাকার সহিত সমকোণে একটি লম্বা অ্যালুমিনিয়ামের সূচক যুক্ত থাকে। চুম্বকটি আবর্তিত হইলে অ্যালুমিনিয়ামের সূচকটি একটি অনুভূমিক বৃত্তাকার স্কেলের উপর দিয়া ঘোরে। সূচক ও চুম্বক পরস্পরের সহিত দৃঢ় ভাবে যুক্ত বলিয়া চুম্বকটি যেকোণে আবর্তিত হইবে সূচকটিও সেই কোণে আবর্তিত হইবে। এই স্কেলটি চারিটি সম-কৌণিক কোণ-চৌধে (Quadrant) বিভক্ত করা থাকে। প্রতিটি কোণ-চৌধে  $0^\circ$ - $90^\circ$  পর্যন্ত ভাগীতে এবং উহার ভগ্নাংশে বিভক্ত করা থাকে। বৃত্তাকার স্কেলটির একটি ব্যাস বরাবর থাকে  $0^\circ$ - $0^\circ$  চিহ্ন এবং উহার সহিত লম্বভাবে অবস্থিত ব্যাস বরাবর থাকে  $90^\circ$ - $90^\circ$  চিহ্ন। অর্থাৎ, কোণ-চৌধগুলি  $0^\circ$ - $90^\circ$ ,  $90^\circ$ - $0^\circ$ ,  $0^\circ$ - $90^\circ$  এবং  $90^\circ$ - $0^\circ$  এইভাবে চিহ্নিত থাকে (চিত্র 6.24)।

ব্যবহার-পদ্ধতি : প্রথমে যন্ত্রটিকে অন্য কোন চুম্বক বা চৌম্বক পদার্থের নিকট হইতে দূরে সরাইয়া লওয়া হইল, যাহাতে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র ছাড়া অন্য কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব যন্ত্রের চুম্বক-শলাকার উপর ক্রিয়া না করে। (ii) পাটাতনের পাদ-স্ক্রুগুলির [L, L] সাহায্যে প্রথমে পাটাতন B-কে অনুভূমিক করা হইল। ইহাতে কুণ্ডলীর তল



উল্লম্ব অবস্থানে আসিবে। (iii) তার-কুণ্ডলীর ফ্রেমটি আন্তে আন্তে ঘুরাইয়া চুম্বক-শলাকা এবং কুণ্ডলীর তল একই উল্লম্ব-তলে আনা হইল। এই অবস্থায় কুণ্ডলীর তল স্থানীয় চৌম্বক মধ্যতলে থাকিবে। (iv) এইবার B পাটাতনের সহিত বৃত্ত বৃত্তাকার স্ক্রেলের পাঠ লওয়া হইল। লক্ষ্য রাখিতে হইবে পরীক্ষাকালে যেন কুণ্ডলী সর্বদা ঐ অবস্থানে থাকে। (v) এই অবস্থায় সূচক (P) বৃত্তাকার স্ক্রলে  $0^\circ-0^\circ$  পাঠ নির্দেশ করিবে।

এইবার T, T বকনী দুইটির সহিত পরীক্ষাধীন তড়িৎ-বর্তনীর দুই প্রান্ত বৃত্ত করিয়া



চিত্র 6.25

বর্তনী সংহত করা হইল। কুণ্ডলীর প্রবাহের ফলে যে-চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হইবে তাহার প্রভাবে চুম্বক-শলাকা বিক্লিপ্ত হইবে। চুম্বক-শলাকা যখন সাম্যে আসে তখন সূচকের পাঠ দেখিয়া চুম্বক-শলাকার বিক্লিপের মান পাওয়া যায়।

কার্যনীতি : কোন বৃত্তাকার পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার কেন্দ্রে যে-চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় তাহার অভিমুখ পরিবাহীর তলের অভিলম্বের দিকে। সুতরাং, কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া

তড়িৎ-প্রবাহ গেলে উহার কেন্দ্রে যে-চৌম্বক ক্ষেত্র ( $\vec{F}$ ) সৃষ্টি হইবে তাহার অভিমুখ কুণ্ডলীর তলের লম্বাভিমুখে। কিন্তু কুণ্ডলীর তল স্থানীয় চৌম্বক মধ্যতলে অবস্থিত।

সুতরাং বলা যায় যে, কুণ্ডলীর প্রবাহের ফলে উদ্ভূত চৌম্বক ক্ষেত্র  $\vec{F}$  এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ  $\vec{H}$  পরস্পর লম্বভাবে ক্রিয়া করিবে (চিত্র 6.25)। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে রক্ষিত ঘূর্ণনক্ষম চুম্বক-শলাকার উপর দুইটি দ্বন্দ্ব (couple) ক্রিয়া করিতেছে— একটি দ্বন্দ্ব পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের দ্বারা এবং অপরটি কুণ্ডলীর প্রবাহের ফলে উদ্ভূত চৌম্বক ক্ষেত্রের দ্বারা। এই দুই বিরুদ্ধ দ্বন্দ্ব যুগপৎ ক্রিয়া করিয়া শলাকাটিকে একটি নির্দিষ্ট বিক্লিপের পর সাম্যে আনে।

মনে করি, NS-চুম্বক-শলাকা  $\theta$  কোণে বিক্লিপ্ত হইয়া সাম্যে আসে। অর্থাৎ, সাম্যাবস্থায় চুম্বকটি চৌম্বক মধ্যতলের সহিত  $\theta$  কোণ করিয়া থাকে। শলাকার মেঘু-শক্তিকে  $m$  দ্বারা সূচিত করিলে উহার উপর ( $mH$ ,  $mH$ ) এবং ( $mF$ ,  $mF$ ) দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করিবে। সাম্যাবস্থায় এই দুই দ্বন্দ্বের ভ্রামক সমান হইবে।

$$\text{পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের ফলে চুম্বক-শলাকার উপর ক্রিয়াশীল দ্বন্দ্বের ভ্রামক} \\ = mH \times SP = mH \times 2l \sin \theta \quad (2l = \text{শলাকার চৌম্বক-দৈর্ঘ্য}) \quad \dots \quad (i)$$

$$\text{অনুরূপভাবে, কুণ্ডলীর প্রবাহের ফলে উদ্ভূত দ্বন্দ্বের ভ্রামক} \\ = mF \times NP = mF \times 2l \cos \theta \quad \dots \quad (ii)$$

সাম্যাবস্থায়, এই দুই দ্বন্দ্বের ভ্রামক সমান, অর্থাৎ

$$mF \times 2l \cos \theta = mH \times 2l \sin \theta$$

$$\text{বা, } F = H \tan \theta \quad (6.6)$$

কোন নির্দিষ্ট স্থানে তড়িৎচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ  $H$  স্থির রাশি বলিয়া লেখা যায়,

$$F \propto \tan \theta$$

ইহাকে ট্যানজেন্ট সূত্র (tangent law) বলা হয়।

তারকুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা  $n$ , ব্যাসার্ধ  $r$  cm এবং প্রবাহমাত্রা  $i$  c. m. ইহলে আমরা লিখিতে পারি,

$$F = \frac{2\pi n i}{r} \quad [\text{সমীকরণ 6.4 হইতে}]$$

অতএব, (6.6) এবং (iii) নং সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\frac{2\pi n i}{r} = H \tan \theta \quad \therefore i = \frac{H}{\left(\frac{2\pi n}{r}\right)} \tan \theta = \frac{H}{G} \tan \theta$$

$$\left[ G = \frac{2\pi n}{r} = \text{গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক (galvanometer constant)} \right]$$

$$\text{বা, } i = K \tan \theta \quad (6.7)$$

কোন নির্দিষ্ট স্থানে  $K \left( = \frac{H}{G} \right)$  একটি ধ্রুবক। ইহাকে গ্যালভানোমিটারের

রূপান্তর-গুণক (reduction factor) বলা হয়।\*

সমীকরণ (6.7)-এ তড়িৎ-প্রবাহকে তড়িচ্চুম্বকীয় একক (c.m.u.)-এ প্রকাশ করা হইয়াছে। তড়িৎ-প্রবাহকে অ্যাম্পিয়ারে প্রকাশ করিলে আমরা লিখিতে পারি,

$$\frac{I \text{ (ampere)}}{10} = K \tan \theta \quad (1 \text{ c.m.u.} = 10 \text{ A বলিয়া})$$

$$\text{বা, } I \text{ (ampere)} = 10 K \tan \theta \quad (6.8)$$

(ii) সাইন গ্যালভানোমিটার (Sine galvanometer): সাইন গ্যালভানোমিটার ও ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার যন্ত্রের নির্মাণ-কৌশলে কোন পার্থক্য নাই। প্রকৃতপক্ষে একই যন্ত্র ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার রূপে এবং সাইন গ্যালভানোমিটার রূপে ব্যবহৃত

### ● বিশেষ দৃষ্টব্য ●

\* গ্যালভানোমিটারের 'reduction factor'-এর পরিভাষা হিসাবে কোন কোন গ্রন্থকার 'লঘু-গুণক' শব্দটি ব্যবহার করেন। 'reduction' শব্দটি 'লঘুকরণ' অর্থে ব্যবহৃত হইলেও ইহাই শব্দটির একমাত্র অর্থ নয়। বর্তমান প্রসঙ্গে 'reduction' শব্দটিকে এ অর্থে গ্রহণ করার কোন যুক্তিও নাই।

'রূপান্তরিত করা' অর্থে 'reduce' শব্দটির ব্যবহার সুবিধিত। গ্যালভানোমিটারের 'reduction factor' যন্ত্রের বিক্ষেপের মানকে তড়িৎ-প্রবাহের মানে রূপান্তরিত করে— এইরূপ বলা যায়। কাজেই, 'reduction factor'-এর পরিভাষা হিসাবে 'রূপান্তর-গুণক' শব্দটিই অধিকতর সার্থক বলিয়া মনে হয়। বর্তমান গ্রন্থে আমরা এই পরিভাষাই ব্যবহার করিব।

হয়। যন্ত্র এক হইলেও এই দুই ক্ষেত্রে যন্ত্রের ব্যবহার-রীতি আলাদা। আমরা দেখিয়াছি যে, যন্ত্রটি যখন ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার রূপে ব্যবহৃত হয় তখন ইহার কুণ্ডলীর তল সর্বদা স্থানীয় চুম্বক মধ্যতলে থাকে। তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে চুম্বক-শলাকাটি ঘুরিয়া



চিত্র 6.26

যায় বলিয়া বিক্ষিপ্ত অবস্থায় উহা কুণ্ডলীর তলে থাকে না। কিন্তু যন্ত্রটি সাইন গ্যালভানোমিটার রূপে ব্যবহৃত হইলে বিক্ষিপ্ত অবস্থায়ও শলাকাটি কুণ্ডলীর তলে অবস্থান করে। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে চুম্বক-শলাকা বিক্ষিপ্ত হইলে কুণ্ডলীটিকে ঘুরাইয়া এমনভাবে স্থাপন করা হয় যাহাতে বিক্ষিপ্ত চুম্বক-শলাকাটি কুণ্ডলীর তলে আসিয়া স্থির হয়। দেখান যায় যে, এক্ষেত্রে পরীক্ষাধীন তড়িৎ-প্রবাহ শলাকার বিক্ষেপের সাইনের সমানুপাতিক।

বিক্ষিপ্ত চুম্বক-শলাকাটি কুণ্ডলীর তলে থাকিলে কুণ্ডলীর চৌম্বক ক্ষেত্র চুম্বকের দুই মেরুতে উহার চৌম্বক অক্ষের লম্ব বরাবর ক্রিয়া করিবে (চিত্র 6.26)। সুতরাং কুণ্ডলী-কর্তৃক

প্রযুক্ত ঘনত্বের ভ্রামক  $= mF \times 2l$  ( $2l$  = চুম্বক-শলাকার দৈর্ঘ্য)। ... (i)

এই অবস্থায় চুম্বক-শলাকার অক্ষ (এবং কুণ্ডলীর তল) চৌম্বক মধ্যতলের সহিত  $\theta$  কোণ উৎপন্ন করিলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র-কর্তৃক প্রযুক্ত ঘনত্বের ভ্রামক  $= mH \times SP = mH \times 2l \sin \theta$  ... (ii)

সাম্যাবস্থায়, উপরি-উক্ত দুই ভ্রামকের মান সমান বলিয়া লেখা যায়,

$$mF \times 2l = mH \times 2l \sin \theta \quad \text{বা,} \quad F = H \sin \theta \quad \dots (iii)$$

$$\text{কিন্তু আমরা জানি যে, } F = \frac{2\pi ni}{r} \quad \dots (iv)$$

এখানে তড়িৎ-প্রবাহ  $i$ -কে তড়িচ্চুম্বকীয় এককে প্রকাশ করা হইয়াছে।

সমীকরণ (iii) ও (iv) হইতে পাই,

$$i = \frac{rH}{2\pi n} \sin \theta = K \sin \theta \quad \dots (6.9)$$

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, তড়িৎ-প্রবাহ  $i$  বিক্ষেপ-কোণ ( $\theta$ )-এর সাইনের সমানুপাতিক।

### ● ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার ও সাইন গ্যালভানোমিটারের তুলনা :

(i) ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার অপেক্ষা সাইন গ্যালভানোমিটার অধিকতর সুবেদী (sensitive)। একই তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার অপেক্ষা সাইন গ্যালভানোমিটারে অপেক্ষাকৃত বেশি বিক্ষেপ পাওয়া যায়। মনে করি,  $i$  তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া সাইন গ্যালভানোমিটারে  $\theta_1$  এবং ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারে  $\theta_2$  বিক্ষেপ পাওয়া যায়। সুতরাং লেখা যায়,

$$i = K \sin \theta_1 = K \tan \theta_2 \quad \text{বা,} \quad \sin \theta_1 = \tan \theta_2$$

কাজেই বলা যায় যে,  $\theta_1 > \theta_2$ , অর্থাৎ সাইন গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ অপেক্ষা বেশি।

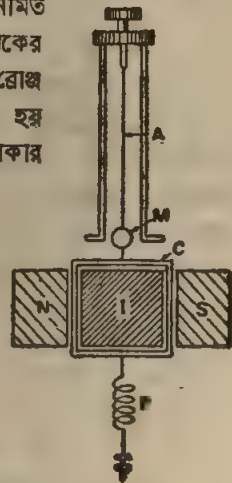
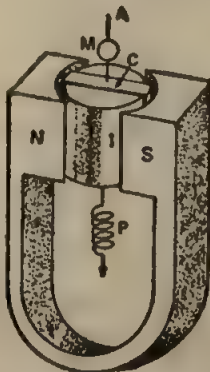
(ii) কুণ্ডলীর কেন্দ্রের নিকট উহার নিজতলে চৌম্বক ক্ষেত্র কার্যত সুষম (uniform)। সাইন গ্যালভানোমিটারে চুম্বক-শলাকাটি বিক্ষিপ্ত অবস্থাতেও কুণ্ডলীর তলে অবস্থান করে বলিয়া বিক্ষেপকারী ক্ষেত্র (deflecting field) সুষম থাকে। কিন্তু ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের ক্ষেত্রে চুম্বক-শলাকাটি বিক্ষিপ্ত অবস্থায় কুণ্ডলীর তলে থাকে না, ফলে বিভিন্ন বিক্ষেপে বিক্ষেপকারী ক্ষেত্রের সামান্য পার্থক্য হয়।

(iii) সাইন গ্যালভানোমিটারের সাহায্যে কী পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ পরিমাপ করা যাইবে তাহার একটি সর্বোচ্চ সীমা আছে। আমরা জানি, এক্ষেত্রে  $i = K \sin \theta$ ;  $\sin \theta$ -এর মান 1 অপেক্ষা বেশি হইতে পারে না। সুতরাং বলা যায় যে, অল্প মাত্রার প্রবাহ মাপিবার জন্য সাইন গ্যালভানোমিটার এবং বেশি মানের প্রবাহ মাপিবার জন্য ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করা সুবিধাজনক।

### 6.17 দারসোঁভাল গ্যালভানোমিটার (D'Arsonval galvanometer)

ইহা একটি চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার। এই যন্ত্রে একটি স্থাণু চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্রে বুলন্ত অবস্থায় একটি কুণ্ডলী থাকে। উহা একটি অক্ষ বোঁড়িয়া ঘুরিতে পারে। কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ চাললে উহার কতখানি বিক্ষেপ হইল তাহা দেখিয়া তড়িৎ-প্রবাহ নির্ণয় করা যায়। এই যন্ত্র অত্যন্ত সুবেদী (sensitive), অর্থাৎ অতি অল্প মাত্রার প্রবাহও এই যন্ত্রের সাহায্যে মাপা যায়। বিজ্ঞানী দারসোঁভাল এই যন্ত্রের আবিষ্কর্তা বলিয়া এই যন্ত্রকে দারসোঁভাল গ্যালভানোমিটার বলা হয়।

যন্ত্রের বর্ণনা : এই যন্ত্রে অন্তর্গত সবু তামার তার দ্বারা নির্মিত একটি আয়তাকার কুণ্ডলী C-কে একটি অশুদ্ধাকৃতি চুম্বকের দুই মেৰু N এবং S-এর মধ্যবর্তী অঞ্চলে একটি ফস্ফোর ব্রোঞ্জ (phosphor bronze) তার A-এর সাহায্যে ঝুলাইয়া দেওয়া হয় (চিত্র 6.27)। চুম্বকের দুই মেৰুপ্রান্তের পৃষ্ঠতল বেলনাকার



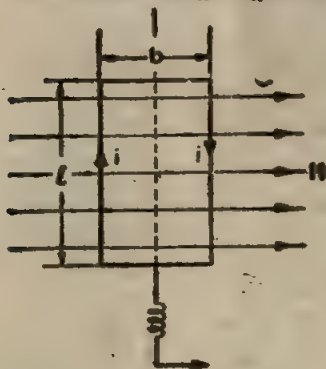
চিত্র 6.27

(cylindrical), ফলে চুম্বকটি কুণ্ডলীকে প্রায় ঘিরিয়া থাকে। ইহাতে কুণ্ডলীর উপর এই চুম্বকের প্রভাবের তুলনায় ভূ-চুম্বক ও অন্যান্য বাহ্যিক চুম্বকের প্রভাব সম্পূর্ণ উপেক্ষণীয়। কুণ্ডলী C-এর



মধ্যবর্তী ফাঁকে একটি বেলনাকার নরম লোহার মজ্জা (soft iron core) I থাকে। ইহার ফলে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত আবেশ রেখা বা চৌম্বক-প্রবাহ (magnetic flux) বৃদ্ধি পায়। বেলনাকার মজ্জা I এবং কুণ্ডলী C-এর মধ্যবর্তী অঞ্চলের বলরেখাগুলি বেলন I-এর অক্ষাভিমুখী। চৌম্বক বলরেখাগুলি এইরূপ হওয়ায় এই মেয়ুর মধ্যে আয়তাকার কুণ্ডলী C যে-অবস্থাতেই থাকুক না কেন, কুণ্ডলীতল সর্বদাই চৌম্বক ক্ষেত্রের সাহিত সমান্তরাল হইবে। কুণ্ডলীর নিচের দিকে একটি পাতলা স্প্রিং P যুক্ত থাকে। ফসফোর ব্রোঞ্জ নির্মিত তার A এবং নিচের স্প্রিং P পরিবাহী তারের সাহায্যে যন্ত্রের বন্ধনী ক্ল-এর সাহিত যুক্ত। A-তারের উপর একটি ছোট আয়না M লাগান থাকে।

**কার্যনীতি :** আমরা জানি যে, চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত কোন তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর উপর চৌম্বক ক্ষেত্র একটি বল প্রয়োগ করে (6.5 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। এই বলের অভিমুখ ফ্রেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র হইতে জানা যায়। সুতরাং, C-কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ গেলে উহার দুই বাহুতে সমান ও বিপরীতমুখী বল ক্রিয়া করিবে। এই স্বল্পের ক্রিয়ায় কুণ্ডলীর বিক্ষেপ (deflection) হইবে। ইহাতে A-তারটি মোচড় খাইবে এবং স্থিতিস্থাপকতার জন্য তারটি উহার পূর্বাৱস্থায় আসিতে সচেষ্ট হইবে, ইহাতে বিক্ষেপকারী স্বল্পের বিপরীত দিকে ক্রিয়াশীল বিবৃদ্ধ স্বল্পের উদ্ভব হইবে। প্রবাহজনিত বিক্ষেপকারী টর্ক (deflecting torque) এবং A-তারের স্থিতিস্থাপকতাজনিত নিয়ন্ত্রক টর্ক (controlling torque) যখন সমান হয় তখন কুণ্ডলী সাম্যে আসে।



চিত্র 6.28

মনে করি, আয়তাকার কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ যথাক্রমে  $l$  এবং  $b$  (চিত্র 6.28)। কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা  $=n$  (খরি)। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া  $i$  (e. m. u.) তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে এবং মেয়ুর ফাঁকে যে-স্থানে কুণ্ডলীটি বিদ্যমান সেই স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য  $H$  হইলে কুণ্ডলীর উভয় বাহুর উপর যে-বল ক্রিয়া করিবে তাহার মান

$$F = niHl \quad (6.7 \text{ নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য})$$

কেননা, কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা  $n$ । ফ্রেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র হইতে বুঝা যাইবে যে, দুই বাহুর উপর ক্রিয়াশীল বল পরস্পর বিপরীতমুখী এবং ইহারা উভয়েই কুণ্ডলীর তলের সাহিত লম্বভাবে ক্রিয়াশীল।

কাজেই, বিক্ষেপকারী স্বল্পের ভ্রামক বা টর্ক

$$\tau = F \times b = niHl \times b = nAHil \quad \dots (i)$$

$$A = lb = \text{কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল}$$

এই স্বল্পের ক্রিয়ায় A-তারটি মোচড় খাইবে। তারের মোচড়ের কৌণিক মান (angle of twist)  $\theta$  হইলে উহার স্থিতিস্থাপকতার ফলে উদ্ভূত নিয়ন্ত্রক স্বল্পের ভ্রামক বা টর্ক

$$\tau' \propto \theta \quad \text{বা, } \tau' = c\theta \quad \dots (ii)$$

এখানে  $c$  একটি ধ্রুবক। ইহার মান বিলয়ন-তার A-এর দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদ এবং উহার উপাদানের কঠন গুণাঙ্ক (rigidity modulus)-এর উপর নির্ভর করে।

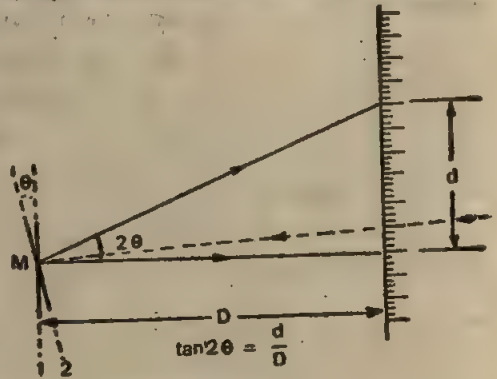
বিক্ষেপকারী টর্ক ও নিয়ন্ত্রক টর্ক পরস্পর সমান হইলে কুণ্ডলী সাম্যে আসে। এই অবস্থার কুণ্ডলীর বিক্ষেপ  $\theta$  হইলে লেখা যায়  $\tau = \tau'$

$$\text{বা, } nAHi = c\theta \quad \text{বা, } i = \frac{c}{nAH} \theta = k\theta \quad \dots \quad (6.10)$$

এখানে  $k$  একটি ধ্রুবক। কাজেই দেখা বাইতেছে যে, এক্ষেত্রে কুণ্ডলীর বিক্ষেপ তড়িৎ-প্রবাহের সমানুপাতিক।

সাধারণত বাতি ও স্কেল-ব্যবস্থার (lamp and scale arrangement) সাহায্যে কুণ্ডলীর বিক্ষেপ মাপা হয়। এই ব্যবস্থার গ্যালভানোমিটার যন্ত্রের সম্মুখে একটি বাতি রাখা হয়। উহা হইতে আগত আলো A-তারের সহিত যুক্ত

আয়না M-কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া একটি স্কেলের উপর পড়ে (চিত্র 6.27 এবং 6.29)। স্কেলের উপর একটি আলোক-পট (light patch) পাওয়া যায়। প্রবাহের ফলে কুণ্ডলীর বিক্ষেপ ঘটিলে আয়না M-এর বিক্ষেপ ঘটে। আমরা জানি যে, আপতিত রশ্মির সাপেক্ষে



চিত্র 6.29

আয়না  $\theta$ -কোণে ঘুরিয়া গেলে প্রতিফলিত রশ্মি  $2\theta$ -কোণে ঘুরিয়া যায়। কাজেই, আয়না M ঘুরিলে স্কেলের উপর দিয়া আলোক-পটটির বিক্ষেপ ঘটে। স্কেল হইতে আয়না যত দূরে থাকে, স্কেলের আলোক-পটটির বিক্ষেপও তত বেশি হয়। এই ব্যবস্থায় কুণ্ডলীর সামান্য বিক্ষেপও ধরা পড়ে।

স্কেল হইতে আয়নার দূরত্ব  $D$  হইলে এবং স্কেলের উপর দিয়া আলোক-পটটির সরণ  $d$  হইলে 6.29 নং চিত্রানুসারে,  $\tan 2\theta = \frac{d}{D}$  ... (iii)

$$\theta \text{ ক্ষুদ্র হইলে লেখা যায়, } \tan 2\theta = 2\theta = \frac{d}{D} \quad \text{বা, } \theta = \frac{d}{2D} \quad \dots \quad (iv)$$

সুতরাং, সমীকরণ (6.10) ও (iv) হইতে পাই,

$$i = \frac{k}{2D} d \quad \text{বা, } i \propto d$$

অর্থাৎ, তড়িৎ-প্রবাহ  $i$  আলোক পটটির সরণ  $d$ -এর সমানুপাতিক।

দারসোভাল গ্যালভানোমিটারের সূচকীয়তা (sensitivity of D'Arsonval galvanometer):

চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটারের তুলনায় দারসোভাল গ্যালভানোমিটারের সূচকীয়তা

$$\text{অনেক বেশি। সমীকরণ (6.10) হইতে লেখা যায়, } \frac{\theta}{i} = \frac{nHA}{c}$$

এখানে  $C$  হইল গ্যালভানোমিটারের চুম্বক। ইহার মান বিলম্বন-ভারের দৈর্ঘ্য, প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ এবং উহার উপাদানের কুণ্ডন গুণাঙ্কের দ্বারা নির্ধারিত হয়।

স্পর্কতই,  $(\theta/i)$  অনুপাতটির মান যত বেশি হইবে গ্যালভানোমিটার তত বেশি সুবেদী (sensitive) হইবে। অর্থাৎ,  $\frac{nHA}{C}$  অনুপাতের মান যত বেশি হইবে যন্ত্রটির সুবেদিতা

তত বাড়িবে। কাজেই,

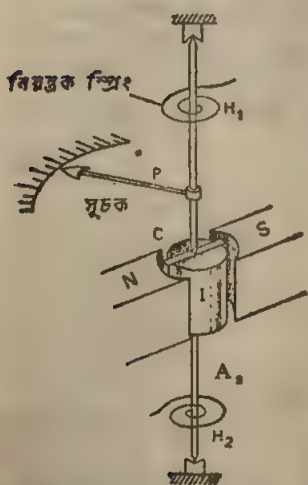
(i)  $H$ -এর মান যত বাড়ান যাইবে যন্ত্রের সুবেদিতাও তত বাড়িবে। অর্থাৎ, যন্ত্রটিতে যত শক্তিশালী চুম্বক ব্যবহার করা হইবে যন্ত্রটি তত সুবেদী হইবে।

(ii) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল  $A$  এবং পাক-সংখ্যা  $n$ -এর মান বাড়াইলেও যন্ত্রের সুবেদিতা বাড়িবে। কিন্তু ক্ষেত্রফল এবং পাকসংখ্যা বাড়াইলে কুণ্ডলীর জড়তা (inertia) এবং রোধ বাড়িবে। কাজেই,  $A$  এবং  $n$ -এর মান একটি নির্দিষ্ট মানের বেশি বাড়ান সুবিধাজনক নয়।

(iii)  $C$ -এর মান যত কম হইবে যন্ত্রের সুবেদিতা তত বাড়িবে। যে-তন্তু হইতে কুণ্ডলীটি ঝুলান হইয়াছে উহার ব্যাসার্ধ যত কম হইবে,  $C$ -এর মান তত কমিবে। কিন্তু তন্তুটিকে খুব বেশি সরু করিলে উহা কুণ্ডলীর ভারে ছিঁড়িয়া যাইতে পারে। কাজেই, তন্তুটিকে খুব বেশি সরু করা যায় না। তন্তুটি এইরূপ উপাদানের দ্বারা তৈয়ারী করা বাজুর্নীয় যাহার কুণ্ডন গুণাঙ্কের মান বেশি। উপাদানটির তড়িৎ-পরিবহনক্ষমতাও থাকা চাই। সব দিক বিবেচনা করিয়া এই যন্ত্রে ফসফোর-ব্রোঞ্জের তন্তু ব্যবহার করা হয়। এই উপাদানের তন্তু ব্যবহার করিয়া  $C$ -এর মান যথেষ্ট কমান যায় এবং যন্ত্রের সুবেদিতা বাড়ান যায়।

### 6.18 টেবুল গ্যালভানোমিটার বা সুবহ সূচক-গ্যালভানো-মিটার (Table galvanometer or portable galvanometer)

দারসোভাল গ্যালভানোমিটারের গঠন ও ব্যবহারের জটিলতা এড়াইয়া এক ধরনের



চিত্র 6.30

এবং  $A_2$  অক্ষদণ্ডের সহিত বিপরীত দিকে প্যাচান দুইটি হোয়ার স্প্রিং  $H_1$  এবং  $H_2$

সুবহ সূচক-গ্যালভানোমিটার নির্মিত হইয়াছে। ইহাকে টেবুল গ্যালভানোমিটার বলা হয়। 6.30 নং চিত্রে এই যন্ত্রের বিভিন্ন অংশ দেখান হইয়াছে। ইহাতে একটি বর্তনীর অন্তর্গত আয়তাকার তারকুণ্ডলী (C) থাকে। উহাতে একটি অন্তরিত তার বহুসংখ্যক পাকে জড়ান থাকে। কুণ্ডলীটিকে একটি ঘূর্ণনক্ষম অক্ষের উপর বসান হয়। ইহার দুইপাশে থাকে দুইটি শক্তিশালী চুম্বক মেবু। দারসোভাল গ্যালভানোমিটারের ন্যায় এই গ্যালভানোমিটারের চুম্বকের পৃষ্ঠদ্বয়ও বেলনাকার (চিত্র 6.30)। কুণ্ডলী C-এর দুইপ্রান্তে দুইটি অক্ষদণ্ড ( $A_1, A_2$ ) যুক্ত থাকে। এই দণ্ডদ্বয়কে দুইটি প্রস্তরনির্মিত আলয়ে (jewelled pivot)

অবাধে ঘূর্ণনক্ষমভাবে স্থাপন করা হয়।  $A_1$

লাগান থাকে। হেয়ার স্প্রিং দুইটির অন্য প্রান্তে যুক্ত থাকে দুইটি বকুনী-কু  $T_1$  এবং  $T_2$ । তড়িৎ-প্রবাহের ফলে কুণ্ডলীর বিক্ষেপ ঘটিলে এই স্প্রিং দুইটি নিম্নতর দ্বন্দ্বের সৃষ্টি করে; ফলে একটি নির্দিষ্ট বিক্ষেপের পর কুণ্ডলী সাম্যে আসে। উভয় পার্শ্বের বিক্ষেপ নিম্নতরনের জন্য দুইটি স্প্রিং ব্যবহৃত হয়। কুণ্ডলীর তলের সহিত লম্বভাবে একটি সূচক  $P$  অক্ষদণ্ডের সহিত যুক্ত থাকে। সূচকের বিক্ষেপ মাপিবার জন্য এই যন্ত্রে একটি কৌণিক স্কেল ব্যবহৃত হয়। সূচকটি কোন্ দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে তাহা নির্ভর করে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখের উপর। কৌণিক স্কেলের শূন্য-দাগটি উহার মধ্যস্থলে থাকে, ফলে যে-কোন অভিমুখের প্রবাহই ইহার সাহায্যে মাপা যায়। স্বাভাবিক অবস্থায় সূচকটি শূন্য-দাগের উপর থাকে। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে সূচকের যে-কৌণিক বিক্ষেপ ঘটে তাহা তড়িৎ-প্রবাহের সমানুপাতিক।

**চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের সুবিধা :**

(i) চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের ক্ষেত্রে চুম্বক-শলাকার উপর বাহিরের অবাস্তব চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া এড়াইবার জন্য যথেষ্ট সতর্কতার প্রয়োজন। চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার কার্যত বাহিরের চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবমুক্ত।

(ii) চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর উপর ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব নাই বলিয়া ইহাকে যে-কোন অবস্থানে রাখিয়াই ব্যবহার করা যায় ॥

(iii) কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা, কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল এবং প্রলম্বন-সূত্রের (suspension fibre) ক্রান্তন গুণক নিয়ন্ত্রিত করিয়া এই যন্ত্রকে খুব সুবেদী করা যায়।

(iv) তড়িৎ-প্রবাহ বিক্ষেপ কোণের সমানুপাতিক হওয়ায় চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের স্কেলটি সুসম হয়।

## 6.19 চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার এবং চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটারের তুলনা (Comparison between moving-coil galvanometer and moving-magnet galvanometer)

উপরের আলোচনা হইতে চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটার এবং চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের নিম্নোক্ত পার্থক্যগুলি বিশেষভাবে লক্ষণীয়।

চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটার	চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার
1. চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটারে পরীক্ষাধীন তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ ঘটিয়া এই প্রবাহের পরিমাপ করা হয়।	1. চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারে একটি শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্রে রক্ষিত তার-কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া পরীক্ষাধীন তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া এই কুণ্ডলীর বিক্ষেপ ঘটানো হয়। এই বিক্ষেপ হইতে তড়িৎ-প্রবাহের মান পাওয়া যায়।
2. ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রেই বিক্ষিপ্ত চুম্বক-	2. যে-তত্ত্ব হইতে তড়িৎবাহী তার-



## চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটার

শলাকার উপর নিয়ন্ত্রক ঘন্ডের সৃষ্টি করিয়া ইহার বিক্ষেপ সীমিত করে।

3. নিয়ন্ত্রক ঘন্ডের সৃষ্টিকারী ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কম বলিয়া বাহিরের চৌম্বকক্ষেত্র সহজেই এই যন্ত্রের চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপকে প্রভাবিত করিতে পারে।

4. চল-চুম্বক যন্ত্রের বৃপাস্তর-গুণক (reduction factor) পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের উপর নির্ভরশীল বলিয়া বিভিন্ন স্থানে ইহার মান বিভিন্ন।

5. এই যন্ত্রের বিক্ষেপ তড়িৎ-প্রবাহের সমানুপাতিক হয় না বলিয়া এই যন্ত্রের স্কেল সুখম নয়।

6. এই যন্ত্রের সাহায্যে  $10^{-8}$  অ্যাম্পিয়ারের কম মানের তড়িৎ-প্রবাহ মাপা যায় না।

7. ব্যবহারের সময় এই যন্ত্রটি স্থানীয় চৌম্বক মধ্যভেলের সাপেক্ষে একটি নির্দিষ্ট অবস্থানে থাকে।

## চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার

কুণ্ডলীটি বুলান হয় উহার স্থিতি-স্থাপকতাই বিক্ষিপ্ত তার-কুণ্ডলীর উপর নিয়ন্ত্রক ঘন্ডের সৃষ্টি করে।

3. এই যন্ত্রের তড়িৎবাহী তার-কুণ্ডলীটি শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে থাকে বলিয়া বাহিরের কোন চৌম্বক ক্ষেত্র ইহার বিক্ষেপকে প্রভাবিত করিতে পারে না।

4. এই যন্ত্র কুণ্ডলীর বিক্ষেপ তড়িৎ-প্রবাহের সমানুপাতিক। এই সমানুপাতিক ধ্রুবকটি অবস্থান-নিরপেক্ষ কারণ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের দ্বারা এই যন্ত্রের কুণ্ডলীর বিক্ষেপ প্রভাবিত হয় না।

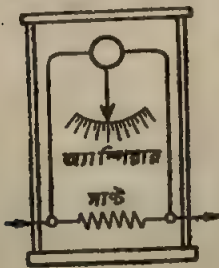
5. এই যন্ত্রে বিক্ষেপ তড়িৎ-প্রবাহের সমানুপাতিক বলিয়া এই যন্ত্রের স্কেলটি সুখম।

6. এই যন্ত্রের সাহায্যে  $10^{-8}$  অ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত তড়িৎ-প্রবাহ মাপা যায়।

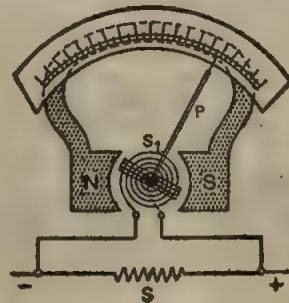
7. ব্যবহারের সময় যন্ত্রটিকে যে-কোন অবস্থানে রাখা যায়।

## 6.20 অ্যাম্মিটার (Ammeter)

সরাসরি কোন বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ মাপিবার জন্য যে-যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাহাকে



চিত্র 6.31 (a)



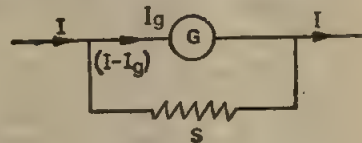
চিত্র 6.31 (b)

অ্যাম্পিটার বলা হয়। এই যন্ত্র গ্যালভানোমিটারের অনুরূপ। ইহার গঠনকোশলে

অতিরিক্ত বাহা থাকে তাহা হইল একটি সান্ট (shunt)। ইহা হইল কুণ্ডলীর সহিত সমান্তরালভাবে যুক্ত একটি স্বল্পমানের রোধ [ চিত্র 6.31 (a, b) ]। এই যন্ত্রের মধ্য দিয়া যখন কোন ভাড়া-প্রবাহ পাঠান হয় তখন ঐ প্রবাহের একটি ক্ষুদ্র অংশ মাত্র কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়, বাকি অংশ প্রবাহিত হয় সান্টের মধ্য দিয়া। এই যন্ত্রের স্কেলটিতে অ্যাম্পিয়ারে দাগ কাটা থাকে। অ্যাম্পিয়ারের স্কেলটি একমুখীভাবে চিহ্নিত করা থাকে। সুতরাং, যন্ত্রের কুণ্ডলী দিয়া নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রবাহ পাঠাইতে হয়। প্রবাহ বাহাতে সঠিক অভিমুখে বাইতে পারে তাহার জন্য কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের দুই বন্ধনী-স্তম্ভর একটিতে '+' চিহ্ন এবং একটিতে '-' চিহ্ন দেওয়া থাকে। বাহিবর্তনীর উচ্চতর বিভব-সম্পন্ন বিন্দুকে '+' চিহ্নিত বন্ধনীর সহিত এবং নিম্নতর বিভব-সম্পন্ন বিন্দুকে '-' চিহ্নিত-বন্ধনীর সহিত যুক্ত করা হয়।

ব্যবহৃত সান্টের মান পরিবর্তন করিয়া অ্যাম্মিটারের পরিমাপ-পাল্লা (range) পরিবর্তন করা হয়। মনে করি, যন্ত্রের কুণ্ডলীর রোধ  $G$   $\Omega$  এবং ইহার মধ্য দিয়া সর্বাধিক যে-প্রবাহ পাঠান যায়, অর্থাৎ যে-প্রবাহ পাঠাইলে যন্ত্রের পূর্ণ-স্কেল বিক্ষেপ (full scale deflection) ঘটে, তাহার মান  $I_g$  অ্যাম্পিয়ার। পরিমের প্রবাহমাত্রার পাল্লা 0 A হইতে I A হইলে ব্যবহৃত সান্টের মান কত হইবে তাহা নিম্নে নির্ণয় করা হইল।

এক্ষেত্রে, সান্ট-রোধের মান এইরূপ হওয়া প্রয়োজন যে, মূলপ্রবাহ I A হইলে যন্ত্রের কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া কেবলমাত্র  $I_g$  A প্রবাহ যায় এবং বাকি  $(I - I_g)$  A প্রবাহিত হয় সান্টের মধ্য দিয়া (চিত্র 6.32)। সান্টের নীতি অনুসারে লেখা যায়,



চিত্র 6.32

$$I_g = \frac{S}{S + G} I \quad \dots \quad (i)$$

এখানে S হইল কুণ্ডলীর সমান্তরালে ব্যবহৃত সান্ট-রোধ

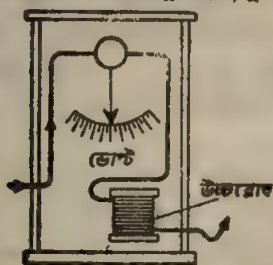
$$\text{সমীকরণ (i) হইতে পাই, } S = \frac{I_g G}{I - I_g} \quad \dots \quad (6.11)$$

এই সান্ট যন্ত্রের কুণ্ডলীর সমান্তরালভাবে যুক্ত থাকিলে যন্ত্রটি 0 A হইতে I A পাল্লার মধ্যে অ্যাম্মিটার বৃত্তে ক্রিয়া করিতে পারে। সাধারণত সান্টের রোধ খুব কম থাকে। ফলে সান্টযুক্ত কুণ্ডলীর কার্যকর রোধও কম হয়। যে-বর্তনীর প্রবাহ মাপিতে হইবে অ্যাম্মিটার সেই বর্তনীর প্রেশীতে যুক্ত করা হয়। বর্তনীর রোধের তুলনায় অ্যাম্মিটারের রোধ উপেক্ষণীয় না হইলে বর্তনীতে অ্যাম্মিটার যুক্ত করিলে ঐ বর্তনীর মোট রোধ তথা ভাড়া-প্রবাহ বদলাইয়া যাইতে পারে। এইজন্য, অ্যাম্মিটারের রোধ নগণ্য হওয়া প্রয়োজন।

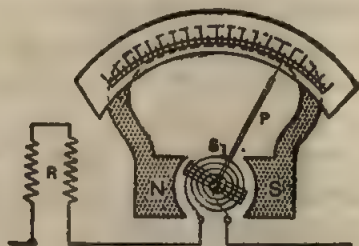
## 6.21 ভোল্টমিটার (Voltmeter)

কোন ভাড়া-বর্তনীর যে-কোন দুইটি বিন্দুর বিভব-বৈষম্য সরাসরি মাপবার জন্য ভোল্টমিটার ব্যবহৃত হইয়াছে। চল-কুণ্ডলী ভোল্টমিটারের কার্যনীতি চল-কুণ্ডলী

গ্যালভানোমিটারের অনুরূপ। শুধু পার্থক্য এই যে, ভোল্টমিটারের কুণ্ডলীর সহিত একটি উচ্চমানের রোধ শ্রেণী-সমবায়ের যুক্ত করা থাকে। এই যন্ত্রের কোণিক স্কেলটি ভোল্ট এককে বা ইহার ভগ্নাংশে অংশীভুক্ত করা থাকে [চিত্র 6.33 (a, b)]। স্কেলের শূন্য-দাগ থাকে উহার বামপ্রান্তে এবং স্বাভাবিক অবস্থায় সূচকটি ঐ শূন্য দাগ বরাবর থাকে। যন্ত্রের বকনীর স্ক্রু দুইটির মধ্যে একটিতে ‘+’ চিহ্ন এবং অপরাটিতে ‘-’ চিহ্ন দেওয়া থাকে। যে-দুইটি বিন্দুর বিভব-বৈষম্য মাপিতে হইবে তাহাদের মধ্যে যে-বিন্দুর



চিত্র 6.33(a)



চিত্র 6.33(b)

বিভব বেশি তাহাকে ‘+’ চিহ্নিত বকনীর-স্ক্রু সহিত এবং যে-বিন্দুটির বিভব কম তাহাকে ‘-’ চিহ্নিত বকনীর-স্ক্রু সহিত যুক্ত করিলে সঠিক অভিমুখে প্রবাহ যাইবে, ফলে যন্ত্রের সূচক বিক্ষিপ্ত হইবে।

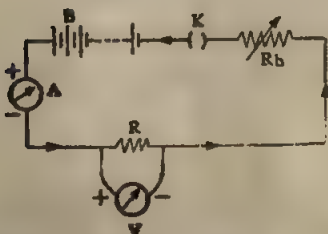
যন্ত্রের কুণ্ডলীর সহিত শ্রেণীতে যুক্ত রোধটির মান পরিবর্তন করিয়া ভোল্টমিটারের পরিমাপ-পাল্লা (range)-এর পরিবর্তন করা যায়। মনে করি, যন্ত্রের কুণ্ডলীর রোধ  $G$  এবং ইহার মধ্য দিয়া যে-প্রবাহমাত্রা পাঠাইলে সূচকের পূর্ণ-স্কেল বিক্ষেপ হইবে তাহার মান  $I_g$ । যন্ত্রটিকে  $0$  volt হইতে  $V$  volt পর্যন্ত বিভব-বৈষম্য মাপিবার উপযুক্ত ভোল্টমিটারে পরিণত করিতে হইলে ইহার কুণ্ডলীর সহিত শ্রেণী-সমবায়ের কী মানের রোধ যুক্ত করিতে হইবে তাহা নিম্নে নির্ণয় করা হইল।

মনে করি, নির্ণয় রোধ  $= R$

$$\therefore I_g = \frac{V}{R+G} \quad \text{বা, } R+G = \frac{V}{I_g} \quad \text{বা, } R = \frac{V}{I_g} - G \quad \dots (6.12)$$

## 6.22 বর্তনীতে অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারের ব্যবহার-পদ্ধতি

পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে যে, যে-বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ মাপিতে হইবে অ্যাম্মিটারকে



চিত্র 6.34

সেই বর্তনীতে শ্রেণী-সমবায়ের স্থাপন করিতে হয়। আবার, যে-রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য মাপিতে হইবে ভোল্টমিটার যন্ত্রকে উহার সহিত সমান্তরালভাবে যুক্ত করিতে হয়। 6.34 নং চিত্রে বর্তনীতে অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারের ব্যবহার দেখান হইয়াছে। চিত্রে অ্যাম্মিটার এবং ভোল্টমিটারকে যথাক্রমে  $A$  এবং  $V$  অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে।

**অ্যাম্পিটার ও ভোল্টমিটারের তুলনা :**

উপরের আলোচনার ভিত্তিতে অ্যাম্পিটার এবং ভোল্টমিটারের নিম্নোক্ত পার্থক্যগুলি বিশেষভাবে লক্ষণীয়।

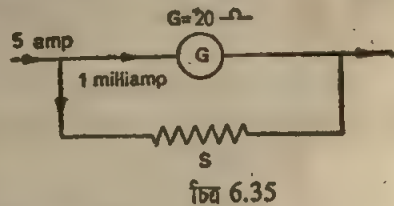
অ্যাম্পিটার	ভোল্টমিটার
1. অ্যাম্পিটারের সাহায্যে কোন বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় করা যায়।	1. ভোল্টমিটারের সাহায্যে কোন বর্তনীর দুইটি বিন্দুর বিভব-বৈষম্য মাপা হয়।
2. যে-বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ মাপিতে হইবে অ্যাম্পিটার যন্ত্রটিকে ঐ বর্তনীতে শ্রেণী-সমবাহারে স্থাপন করিতে হইবে।	2. কোন বর্তনীর যে-দুই বিন্দুর বিভব-বৈষম্য পরিমাপ করিতে হইবে ভোল্টমিটারকে ঐ দুই বিন্দুর সহিত বর্তনীর সমান্তরালভাবে যুক্ত করিতে হয়।
3. অ্যাম্পিটারের অন্তর্ভুক্তির ফলে বাহ্যতে বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহের উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন না হয় সেইজন্য অ্যাম্পিটারের কার্যকর রোধ খুব কম রাখিতে হয়।	3. বর্তনীতে ভোল্টমিটার যুক্ত করিলে বাহ্যতে মূল বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহের উল্লেখ-যোগ্য পরিবর্তন না হয় সেইজন্য ভোল্টমিটারের রোধ বেশি হওয়া প্রয়োজন।
4. অ্যাম্পিটার যন্ত্রের কুণ্ডলীর সমান্তরালে একটি স্বপমানের সার্ট রোধ যুক্ত থাকে।	4. ভোল্টমিটার যন্ত্রের কুণ্ডলীর সাহিত শ্রেণী-সমবাহারে একটি উচ্চ মানের রোধ যুক্ত থাকে।
5. অ্যাম্পিটারের পরিমাপের পাল্লা (range) বাড়াইতে হইলে এই যন্ত্রের কুণ্ডলীর সমান্তরালে যুক্ত সার্ট রোধের মান কমাইতে হয়।	5. ভোল্টমিটারের পরিমাপের পাল্লা বাড়াইতে হইলে ইহার কুণ্ডলীর শ্রেণী-সমবাহারে যুক্ত রোধটির মান বাড়াইতে হয়।

**সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী :**

**উদাহরণ 6.5** একটি চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের রোধ  $20\ \text{ohm}$  ; ইহার মধ্য দিয়া 1 মিলি-অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ গেলে উহার পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ (full scale deflection) হয়। এই গ্যালভানোমিটারকে 5 অ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত তড়িৎ-প্রবাহ পরিমাপের উপযুক্ত অ্যাম্পিটারে পরিণত করিতে হইলে কী মানের সার্ট ব্যবহার করিতে হইবে ?

**সমাধান :** সার্টের মান এইরূপ হওয়া প্রয়োজন বাহ্যতে মূল প্রবাহের মান 5 অ্যাম্পিয়ার হইলে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া মাত্র 1 মিলি-অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যায়, বাকিটা যায় সার্টের মধ্য দিয়া (চিত্র 63.5)। ইহাতে যন্ত্রের পূর্ণ-স্কেল বিক্ষেপ ঘটিবে এবং যন্ত্রটি 0.5 amp পাল্লার অ্যাম্পিটাররূপে কাজ করিবে।

চুম্বকত্ব-20



চিত্র 63.5



$$\text{আমরা জানি, } I_p = \frac{S}{S+G} \cdot I$$

$$\text{এখানে, } 10^{-3} = \frac{S}{S+20} \cdot 5$$

$$\text{বা, } S+20 = 5000S \quad \text{বা, } S = 0.004\Omega \text{ (প্রায়)}$$

**উদাহরণ 6.6** একটি চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার 0.01 A প্রবাহে পূর্ণ-স্কেল বিক্লেপ সৃষ্টি করে। ইহাকে 100 volt পর্যন্ত বিভব-বৈষম্য পরিমাপের উপযোগী ভোল্টমিটারে পরিণত করিতে হইবে। গ্যালভানোমিটার কুণ্ডলীর রোধ  $50\Omega$  হইলে উহার সহিত শ্রেণীতে কী মানের রোধ যুক্ত করিতে হইবে?

**সমাধান :** মনে করি, নির্ণয়ের রোধ  $= R \Omega$

R-এর মান এইরূপ হওয়া প্রয়োজন বাহাতে যন্ত্রটিতে 100 volt বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে উহার মধ্য দিয়া 0.01 A প্রবাহ যার এবং পূর্ণ স্কেল বিক্লেপ সৃষ্টি করে।

$$\therefore \frac{100}{R+G} = 0.01 \quad \text{বা, } R+G = \frac{100}{0.01} \Omega$$

$$\text{বা, } R+G = 10000\Omega$$

$$\text{এখানে, } G = 50\Omega \text{ বলিয়া } R = 9950\Omega$$

**উদাহরণ 6.7** একটি টেবুল গ্যালভানোমিটারের সূচক প্রতি মিলি-অ্যাম্পিয়ার প্রবাহে স্কেলের 5 ঘর বিক্লেপ হয়। ইহাকে একটি অ্যামিটারের ন্যায় ব্যবহার করিতে হইবে। ইহার কুণ্ডলীর রোধ  $499\Omega$ । ইহার সহিত ব্যবহৃত সার্কটের মান কত হইলে প্রতি অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহে সূচকটি স্কেলের 10 ঘর বিক্লেপ হইবে?

**সমাধান :** স্কেলের 5 ঘর বিক্লেপের জন্য প্রয়োজনীয় প্রবাহ 1 mA, সুতরাং 10 ঘর বিক্লেপ সৃষ্টি করিতে হইলে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 2 mA প্রবাহ পাঠাইতে হইবে। প্রশ্নের গর্তানুসারে, সার্কট S-এর মান এইরূপ হওয়া প্রয়োজন বাহাতে মূলপ্রবাহ 1 A হইলে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া মাত্র 2 mA প্রবাহ যার।

$$\text{আমরা জানি, } I_p = \frac{S}{S+G} \cdot I$$

$$\text{বা, } 2 \times 10^{-3} = \frac{S}{S+G} \times 1 \quad \text{বা, } \frac{S+499}{S} = \frac{10^3}{2} \quad \text{বা, } S = 1\Omega$$

**উদাহরণ 6.8**  $10\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারকে  $100\Omega$  রোধবিশিষ্ট (গ্যালভানোমিটারের রোধসহ) একটি বর্তনীতে যুক্ত করিলে  $60^\circ$  বিক্লেপ পাওয়া যায়। কী মানের সার্কট ব্যবহার করিলে গ্যালভানোমিটারের বিক্লেপ  $30^\circ$  হইবে?

[ সংসদের নথ্যনা প্রসঙ্গ, 1980 ]

**সমাধান :** গ্যালভানোমিটারের রোধ  $10\Omega$  এবং বর্তনীর মোট রোধ (গ্যালভানোমিটারের রোধসহ)  $100\Omega$ ; কাজেই গ্যালভানোমিটারের রোধ ভিন্ন অন্য রোধ;

$$R = (100 - 10) = 90\Omega$$

মনে করি, ব্যাটারীর তড়িৎচালক বল  $= E$

প্রথম ক্ষেত্রে, গ্যালভানোমিটারের তড়িৎ-প্রবাহ,

$$(i_p)_1 = \frac{E}{100} = K \tan 60^\circ$$

... (i)

এখানে  $K$  হইল গ্যালভানোমিটারের রূপান্তর-গুণক (reduction factor)।

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বর্তনীর মোট রোধ

$$= 90\Omega + \frac{G \times S}{G + S} = 90 + \frac{10 \times S}{10 + S} \Omega$$

কাজেই, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বর্তনীর মূল প্রবাহ,

$$i = \frac{E}{90 + \frac{10 \times S}{10 + S}}$$

এই সময় গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ,  $(i_g)_s = i \times \frac{S}{S + 10}$

$$\text{বা, } (i_g)_s = \frac{E}{90 + \frac{10 \times S}{10 + S}} \times \frac{S}{(10 + S)}$$

$$\text{বা, } (i_g)_s = \frac{ES}{90(10 + S) + 10S} = K \tan 30^\circ \quad \dots \quad (ii)$$

সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে পাই,

$$\frac{90(S + 10) + 10S}{100S} = \frac{\tan 60^\circ}{\tan 30^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = 3$$

$$\text{বা, } 90S + 900 + 10S = 300S \quad \text{বা, } S = 4.5\Omega$$

**উদাহরণ 6.9** একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারে 10 cm ব্যাসার্ধের 300 টি তার-কুণ্ডলী রহিয়াছে। যে-স্থানে ছু-চৌধক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ (H)-এর মান 0.18 সি. জি. এস. একক সেই স্থানে উক্ত গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া একটি নির্দিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উহার  $45^\circ$  বিক্লেপ ঘটে। ঐ তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

$$\text{সমাধান : } i = \frac{10H}{2\pi n} \tan \theta = \frac{10Hr}{2\pi n} \tan \theta$$

$$= \frac{10 \times 0.18 \times 10}{2 \times 3.14 \times 300} \tan 45^\circ = \frac{18}{6.28 \times 300} = 0.0095 \text{ A (প্রায়)}$$

**উদাহরণ 6.10** একটি গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া 10 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার সূচকটি  $45^\circ$  বিক্লেপ হয়। যে-তড়িৎ-প্রবাহের ফলে গ্যালভানোমিটারের বিক্লেপের মান  $30^\circ$  হইবে তাহার মান নির্ণয় কর।

$$\text{সমাধান : আমরা জানি, } I = 10K \tan \theta$$

$$\therefore 10 = 10K \tan 45^\circ \quad \text{বা, } K = 1 \text{ A}$$

$$\text{মনে করি, নির্ণেয় তড়িৎ-প্রবাহ} = i \text{ A}$$

$$\therefore \text{প্রশ্নের শর্তানুসারে, } i = 10K \tan 30^\circ = 10 \times 1 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

**উদাহরণ 6.11** তিন-পাকবিশিষ্ট একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 0.85 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। কুণ্ডলীর ব্যাস 30 cm হইলে উহার কেন্দ্রে

তড়িৎ-প্রবাহ-কর্তৃক উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত? স্থানীয় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্যের মান 0.17 oersted হইলে ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ কত হইবে?

সমাধান : কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য

$$F = \frac{2\pi ni}{r}, \text{ এখানে } i\text{-এর একক c.m.u.}$$

$$\text{কাজেই, } i = \frac{0.85}{10} \text{ c.m.u.} = 0.085 \text{ c.m.u., } n = 3, r = \frac{30}{2} = 15 \text{ cm}$$

$$\therefore F = \frac{2\pi \times 3 \times 0.085}{15} = 0.1068 \text{ oersted}$$

উক্ত তড়িৎ-প্রবাহের ফলে ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ  $\theta$  হইলে লেখা যায়,

$$F = H \tan \theta \quad \text{বা, } \tan \theta = \frac{0.1068}{0.17} = 0.628$$

ট্যানজেন্টের মানের টেবুল হইতে পাই,  $\theta = 39^\circ$  (প্রায়)

উদাহরণ 6.12 শ্রেণী-সমবায়ের বৃত্ত দুইটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে দুইটি গ্যালভানোমিটারেই একই বিক্ষেপ সৃষ্টি হইল। প্রথম গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীতে পাক-সংখ্যা 100 এবং দ্বিতীয় গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীতে পাক-সংখ্যা 25 হইলে উহাদের ব্যাসার্ধের তুলনা কর।

সমাধান : আমরা জানি যে,

$$i = K \tan \theta = \frac{Hr}{2\pi n} \tan \theta$$

এখানে,  $H$  = ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ,  $r$  = গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ, এবং  $n$  = পাক-সংখ্যা।

গ্যালভানোমিটার দুইটি শ্রেণী-সমবায়ের বৃত্ত বলিয়া ইহাদের মধ্য দিয়া একই তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। প্রশ্নের শর্তানুসারে, ইহাদের উভয়ের বিক্ষেপ সমান। কাজেই, লেখা যায়,

$$\frac{Hr_1}{2\pi n_1} \tan \theta = \frac{Hr_2}{2\pi n_2} \tan \theta$$

$$\text{বা, } \frac{r_1}{r_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{100}{25} = \frac{4}{1}$$

সুতরাং, প্রথম এবং দ্বিতীয় গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধের অনুপাত 4 : 1।

উদাহরণ 6.13 একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার এবং একটি তামা-ভোল্টামিটারের শ্রেণী-সমবায়ের মধ্য দিয়া 45 মিনিট ধরিয়া একটি তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে তামা-ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে 0.6 gm তামা জমা হইল। ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের স্বপাস্তর-গুণক (reduction factor) কত? তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 0.00033 gm/C।

সমাধান : আমরা জানি যে, তামা-ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়া  $t$  সেকেন্ড ধরিয়া  $i$  অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে ক্যাথোডে যে-পরিমাণ তামা জমা হয় উহার ভর

$$W = Zit \quad \dots (i)$$

এখানে  $Z$  হইল তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

প্রশ্নানুসারে,  $W = 0.6 \text{ gm}$ ,  $t = 45 \text{ মিনিট} = 45 \times 60 \text{ sec}$

এবং  $Z = 0.00033 \text{ gm/C}$ ।

(i) নং সমীকরণ হইতে পাই,

$$i = \frac{W}{Zt} = \frac{0.6}{0.00033 \times 45 \times 60} \text{ অ্যাম্পিয়ার} \quad \dots \quad (ii)$$

আলোচ্য ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বৃপাস্তর-গুণক  $K \text{ (e.m.u.)}$  হইলে লেখা যায়,

$$i = 10 K \tan \theta \quad \dots \quad (iii)$$

প্রশ্নানুসারে, বিক্ষেপ  $\theta = 30^\circ$  বলিয়া সমীকরণ (ii) এবং (iii) হইতে পাই,

$$i = 10 K \tan 30^\circ$$

$$\text{বা, } \frac{0.6}{0.00033 \times 45 \times 60} = 10 K \tan 30^\circ = \frac{10}{\sqrt{3}} K$$

$$\text{বা, } K = \frac{0.6 \times \sqrt{3}}{0.00033 \times 45 \times 60 \times 10} \text{ e.m.u.} \\ = 0.1166 \text{ e.m.u. (প্রায়)}$$

**উদাহরণ 6.14**  $G$  রোধাবিশিষ্ট একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের সহিত  $B$  আভ্যন্তরীণ রোধাবিশিষ্ট একটি ব্যাটারীর এবং  $R$  মানের একটি রোধ শ্রেণীবদ্ধ-সমবारे যুক্ত করিয়া দেখা গেল যে, গ্যালভানোমিটারের  $\alpha$  বিক্ষেপ ঘটিয়াছে।  $R$ -এর পরিবর্তে অপর একটি অজানা রোধ  $X$  যুক্ত করিয়া দেখা গেল যে, গ্যালভানোমিটারের  $\beta$  বিক্ষেপ হইয়াছে। দ্বিতীয় রোধটির মান নির্ণয় কর।

**সমাধান :** ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের মূলতত্ত্ব হইতে আমরা জানি যে,

$$i = K \tan \theta$$

মনে করি, ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল  $= E$

$$\text{সুতরাং, প্রথম ক্ষেত্রে তড়িৎ-প্রবাহ, } i_1 = \frac{E}{R + B + G}$$

$$\text{প্রথের শর্তানুসারে, } K \tan \alpha = \frac{E}{(R + B + G)} \quad \dots \quad (i)$$

$$\text{অনুরূপভাবে, } K \tan \beta = \frac{E}{B + G + X} \quad \dots \quad (ii)$$

(i) ও (ii) হইতে পাই,  $\tan \alpha (R + G + B) = \tan \beta (B + G + X)$

$$\text{বা, } X = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} (R + G + B) - (B + G)$$

**উদাহরণ 6.15** একটি তড়িৎ-বর্তনীতে একটি ব্যাটারী, রৌপ্য-ভোল্টামিটার এবং 30 টি পাকবিশিষ্ট 24 cm গড় ব্যাসার্ধের কুণ্ডলী-নির্মিত একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার শ্রেণী-সমবारे যুক্ত আছে। এক ঘণ্টার রৌপ্য-ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে 1.8 gm বৃপা জমা হইলে ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারটির বৃপাস্তর-গুণক (reduction factor) এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য নির্ণয় কর। গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ  $45^\circ$  এবং বৃপায় তড়িৎ-রাসায়নিক জুল্যান্ড 0.0011182 gm/C। [জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1975]

**সমাধান :** আমরা জানি যে,  $W = Zct$

এখানে;  $W = 1.8 \text{ gm}$ ,  $Z = 0.0011182 \text{ gm/C}$  এবং  $t = 1 \text{ ঘণ্টা} = 60 \times 60 \text{ sec}$



$$\text{কাজেই, ভাড়া-প্রবাহ, } c = \frac{W}{Zt}$$

$$= \frac{1.8}{0.0011182 \times 60 \times 60} \text{ A} = 0.447 \text{ A}$$

টানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ  $45^\circ$  বলিয়া লেখা যায়,

$$c = 10K \tan 45^\circ$$

$$\text{বা, } 0.423 = 10K \tan 45^\circ$$

$$\text{বা, } K = \frac{0.447}{10} = 0.0447 \text{ cgs units}$$

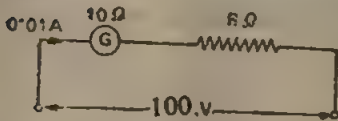
$$\text{আবার, আমরা জানি যে, } K = \frac{H}{G} \quad \text{বা, } H = K \cdot G$$

$$= K \cdot \frac{2\pi n}{r} = 0.0447 \times \frac{2\pi \times 30}{24} \text{ Oe}$$

$$= 0.351 \text{ Oe}$$

**উদাহরণ 6.16** একটি চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের রোধ  $10\Omega$  এবং ইহা  $0.01$  অ্যাম্পিয়ার ভাড়া-প্রবাহে পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ দেয়। ইহাকে (i)  $V$  পৰ্যন্ত পাঠ করিবার উপযুক্ত ভোল্টমিটারে এবং (ii)  $10A$  পৰ্যন্ত পাঠ করিবার উপযুক্ত অ্যামিটারে পরিণত করা যায় কীভাবে?

**সমাধান :** (i) গ্যালভানোমিটারটিকে  $100 V$  পৰ্যন্ত পাঠের উপযুক্ত ভোল্টমিটারে পরিণত করিতে হইলে ইহার সহিত শ্রেণীতে এমন একটি রোধ  $R\Omega$  যুক্ত করিতে হইবে যাহাতে এই শ্রেণী-সমবায়ের দুই প্রান্তে  $100 V$  বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া  $0.01 A$  ভাড়া-প্রবাহ যায় (চিত্র 6.36)। সুতরাং লেখা যায়,



চিত্র 6.36

$$0.01 = \frac{100}{10 + R}$$

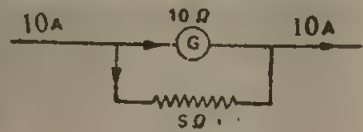
$$\text{বা, } 0.1 + 0.01R = 100$$

$$\text{বা, } 0.01R = 99.9$$

$$\text{বা, } R = 9990$$

অর্থাৎ, গ্যালভানোমিটারটিকে  $100 V$  পৰ্যন্ত পাঠের উপযুক্ত ভোল্টমিটারে পরিণত করিতে হইলে ইহার সহিত শ্রেণীতে  $9990 \Omega$  রোধ যুক্ত করিতে হইবে।

(ii) গ্যালভানোমিটারটিকে  $10A$  পৰ্যন্ত পাঠের উপযুক্ত অ্যামিটারে পরিণত করিতে হইলে ইহার সহিত সমান্তরালভাবে এমন একটি সার্কটরোধ  $S \Omega$  যুক্ত করিতে হইবে যাহাতে বর্তমানীর মূলপ্রবাহ  $10 A$  হইলে  $0.01 A$  ভাড়া-প্রবাহ যাইবে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া এবং বাকি ভাড়া-প্রবাহ যাইবে ঐ সার্কটের মধ্য দিয়া (চিত্র 6.37)। আমরা জানি যে, মূলপ্রবাহ  $i$  হইলে এবং গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ  $i_g$  হইলে



চিত্র 6.37

$$i_0 = \frac{S}{S+G} \cdot i$$

$$\text{কাজেই, } 0.01 = \frac{S}{S+10} \times 10$$

$$\text{বা, } \frac{S+10}{S} = 1000 \quad \text{বা, } 1 + \frac{10}{S} = 1000$$

$$\text{বা, } \frac{10}{S} = 999 \quad \text{বা, } S = \frac{10}{999} = 0.01001 \Omega \text{ (প্রায়)}$$

কাজেই, গ্যালভানোমিটারটিকে 10 A পর্যন্ত মাপবার উপযুক্ত অ্যাম্পিটারে পরিণত করিবার জন্য ইহার সহিত সমান্তরালভাবে 0.01001  $\Omega$  রোধ যুক্ত করিতে হইবে।

### সাত-সংকেত

তড়িৎ-প্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি করে। বিজ্ঞানী ওয়রস্টেড প্রথম তড়িৎ-প্রবাহের এই চৌম্বক ক্রিয়া লক্ষ্য করেন। তড়িৎবাহী তারের চতুর্দিকে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ ওয়রস্টেডের সূত্র, অ্যাম্পিয়ারের সম্তরণ সূত্র, ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র এবং ক্রোমিং-এর অঙ্গুষ্ঠ সূত্র হইতে পাওয়া যায়।

তড়িৎ-প্রবাহের দ্বারা কোন বিন্দুতে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য  $F$  ম্যাক্সওয়েলের সূত্র হইতে পাওয়া যায়। কোন পরিবাহীর তড়িৎ-প্রবাহ  $i$  হইলে উহার অতি ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য  $l$ -এর দ্বারা কোন বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য (e. m. u.)

$$F = \frac{il \sin \theta}{r^2}$$

এখানে  $r$  হইল পরিবাহীর বিবেচ্য অংশ হইতে উক্ত বিন্দুর দূরত্ব এবং  $\theta$  হইল তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ এবং আলোচ্য ক্ষুদ্র পরিবাহীর সাপেক্ষে উক্ত বিন্দুর অবস্থান ভেক্টরের অভিমুখের অন্তর্বর্তী কোণ।

এই সূত্র হইতে তড়িৎ-প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় এককের নিম্নরূপ সংজ্ঞা পাওয়া যায় :

এক সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি তারকে এক সেন্টিমিটার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট বৃত্তের আকারে বাঁকাইয়া উহার মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে বৃত্তটির কেন্দ্রে অবস্থিত একক মেবুর উপর 1 ডাইন বল ক্রিয়া করে সেই প্রবাহকে তড়িৎ-প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক (e. m. u.) বলা হয়।

$n$ -সংখ্যক পাকবিশিষ্ট এবং  $r$  ব্যাসার্ধের একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া  $i$  e. m. u. তড়িৎ-প্রবাহ গেলে উহার কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান

$$F = \frac{2\pi ni}{r}$$

চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন তড়িৎবাহী তার রাখিলে ঐ তারের উপর একটি বল ক্রিয়া করে। এই বলের অভিমুখ কী হইবে তাহা নির্ণয় করা যায় ক্রোমিং-এর বাম হস্ত সূত্র হইতে।

তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া ব্যবহার করিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পরিমাপের জন্য নানান ধরনের গ্যালভানোমিটার যন্ত্র উদ্ভাবিত হইয়াছে। গ্যালভানোমিটার প্রধানত দুই প্রকার—

(i) চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার এবং (ii) চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটার। চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার যন্ত্রগুলি চল-চুম্বক গ্যালভানোমিটারের তুলনায় বেশি সুবেদী (sensitive)।

অ্যামিটার যন্ত্রের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ পরিমাপ করা হয় এবং ভোল্টমিটার যন্ত্রের সাহায্যে বিভব-বৈষম্য মাপা যায়। এই যন্ত্রগুলি গ্যালভানোমিটার যন্ত্রেরই অনুরূপ; তবে অ্যামিটারের কুণ্ডলীর সহিত একটি সার্ট যুক্ত থাকে। এই যন্ত্রের কার্যকর রোধ খুব কম হয়। ভোল্টমিটার যন্ত্রের কুণ্ডলীর শ্রেণীতে একটি উচ্চমানের রোধ যুক্ত থাকে।

### প্রশ্নাবলী ৬

#### হুম্বোল্ডের প্রশ্নাবলী

1. কোন নির্দিষ্ট অঞ্চলের মধ্য দিয়া যাইবার সময় একটি তড়িদাহিত কণা বিকিপ্ত হয় না। ইহা হইতে কি এই সিদ্ধান্ত করা যায় যে, ঐ স্থানে কোন চৌম্বক ক্ষেত্র নাই? ব্যাখ্যা কর।

[সেরিন ইঞ্জিনিয়ারিং অ্যাডমিশন টেস্ট, 1977]

2. একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়া উত্তর দিক হইতে দক্ষিণ দিকে তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। একটি চুম্বক-শলাকাকে তড়িৎবাহী পরিবাহীর (i) উপরে রাখিলে, (ii) নিচে রাখিলে ইহা কোন্ দিকে বিকিপ্ত হইবে?

3. তোমার নিকট একটি চুম্বক এবং একটি তড়িদাহিত কণা আছে। যদি (i) চুম্বক এবং তড়িদাহিত কণা—উভয়েই স্থির থাকে, (ii) উভয়েই সমান মানের বেগ লইয়া একই অভিমুখে চলিতে থাকে, (iii) চুম্বকটি চলিতে থাকে এবং তড়িদাহিত কণাটি স্থির অবস্থায় থাকে এবং (iv) চুম্বকটি স্থির থাকে এবং তড়িদাহিত কণাটি চলিতে থাকে তাহা হইলে কণাটির উপর কোন বল ক্রিয়া করিবে কি?

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1980]

4. যখন (i) তড়িৎ-প্রবাহ বাড়ান হয়, (ii) তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ বদলান হয়, (iii) চুম্বকের মেরুদ্বয়ের অবস্থান পরিবর্তন করা হয় এবং (iv) চুম্বকটি সরাইয়া লওয়া হয় তখন বালোর চক্রের ঘূর্ণন কীভাবে প্রভাবিত হইবে?

5. একটি চুম্বক-শলাকা একটি উন্নয়ন অবলম্বনের উপর অব্যাহে ঘূর্ণনকর্ম অবস্থায় আলাদিত আছে। চুম্বক-শলাকাটি উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া স্থির হইয়াছে। একটি তারকে ঐ চুম্বক-শলাকার উপর দিয়া উহার সহিত সমান্তরালভাবে রাখা আছে। ঐ তারের মধ্য দিয়া উত্তর দিকে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইলে চুম্বকের উত্তর-মেরু কোন্ দিকে ঘুরিবে?

6. অনন্ত-দীর্ঘ (infinitely long) দুইটি তারের মধ্য দিয়া একই অভিমুখে সম-মানের তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। (i) একটি তারের তড়িৎ-প্রবাহের দ্বন্দ্ব চৌম্বক ক্ষেত্র অন্য তারটির উপর অবস্থিত কোন বিন্দুর উপর কোন্ দিকে ক্রিয়া করিবে? (ii) একটি তড়িৎবাহী তারের দ্বন্দ্ব অন্যটির উপর ক্রিয়াশীল বলের অভিমুখ কী হইবে? (iii) উভয় তারের তড়িৎ-প্রবাহ ঋণাত্মক হইলে এই বলের মানের কী রূপ পরিবর্তন হইবে? (iv) এই দুই তারের ঠিক মাঝখানে কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কী হইবে?

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1973]

7. একটি তড়িৎবাহী তারকুণ্ডলীকে উল্লম্বভাবে একটি কর্কের উপর রাখিয়া ঐ কর্কটিকে জলে ভাসান হইল। তু-চৌম্বক ক্ষেত্রে কুণ্ডলীটি নিজেকে কীভাবে স্থাপন করিরা সাম্যাবস্থায় আসিবে ?

8. একটি লম্বা তারকে দুই ভাগে ভাঙ্গ করিরা উহার দুই প্রান্ত একটি ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করা হইল। তারের দুই অংশ কাছাকাছি থাকিলে এবং উহাদের সম্মুখে একটি চুম্বক-শলাকা আনিলে ঐ শলাকার বিক্ষেপ ঘটিবে কি ? যুক্তিসহ উত্তর দাও।

9. অ্যাম্পিটারের রোধ কম এবং ভোল্টমিটারের রোধ বেশি রাখা হয় কেন ?

10. ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের চুম্বক-শলাকাটি ক্ষুদ্র হওয়া উচিত কেন ব্যাখ্যা কর।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980]

11. নমনীয় তার দ্বারা আলগাভাবে গঠিত লুপের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহার আকৃতির কীরূপ পরিবর্তন হইবে ?

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

12. ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের সাহায্যে পরীক্ষা করার সময় গ্যালভানোমিটার বিক্ষেপকে  $45^\circ$ -র কাছাকাছি রাখা হয় কেন ?

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1986]

[সংক্ষেপ : আমরা জানি যে,  $I = K \tan \theta$

কাজেই,  $\frac{dI}{d\theta} = K \sec^2 \theta$  [অন্তরকলন করিরা পাই]

বা,  $dI = K \sec^2 \theta d\theta$

গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ  $\theta$ -এর পাঠ লইতে  $d\theta$  হুটি ঘটিলে তড়িৎ-প্রবাহের নির্ণাত মানের শতকরা হুটি,

$$\begin{aligned} \frac{dI}{I} \times 100\% &= \frac{K \sec^2 \theta \cdot d\theta}{K \tan \theta} \times 100\% \\ &= \frac{2 d\theta}{\sin 2\theta} \times 100\% \end{aligned}$$

বিক্ষেপ পাঠের হুটি  $d\theta$ -কে নিরপেক্ষ ধরা যায়। কাজেই, তড়িৎ-প্রবাহের নির্ণাত মানের শতকরা হুটি তখনই ন্যূনতম হইবে যখন  $\sin 2\theta = 1$ ।

কাজেই,  $2\theta = \pi/2$  বা,  $\theta = \pi/4$

অর্থাৎ, ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ যখন  $45^\circ$  তখনই এই যন্ত্রের সাহায্যে নির্ণাত তড়িৎ-প্রবাহের মানের শতকরা হুটি সর্বনিম্ন হয়।]

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

13. চুম্বকের উপর তড়িৎ-প্রবাহের প্রভাব দেখাইবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপের অভিমুখ সম্পর্কে অ্যাম্পিটারের সূচ এবং ওমরস্টেডের সূচ বিবৃত কর।

14. একটি সরল তড়িৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা অঙ্কনের পরীক্ষা-পদ্ধতি বর্ণনা কর। বলরেখার অভিমুখ স্থির করিবার সূচগুলি উল্লেখ কর।

15. সলেনয়েড কাকে বলে ? তড়িৎবাহী সলেনয়েডের চারিদিকের চৌম্বক ক্ষেত্র কীরূপ তাহা চিত্রের সাহায্যে দেখাও।

[সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]



16. চিত্রের সাহায্যে (i) তড়িৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র, (ii) তড়িৎবাহী বৃত্তাকার তারের চৌম্বকক্ষেত্র এবং (iii) তড়িৎবাহী সলেনয়েডের চৌম্বক ক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1963 ]

17. (a) কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের ফলে পরিবাহীর চতুর্দিকে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের যে-কোন বিন্দুতে প্রাবল্য-সম্পর্কিত ল্যাম্বার্সের সূত্রটি বিবৃত কর।

(b) একটি চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার বা ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

(c) অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারের পার্থক্য কী কী? [ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1981 ]

18. কোন তড়িৎবাহী তার যে-চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন করে সেই চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান-সংক্রান্ত ল্যাম্বার্সের সূত্রটি বিবৃত কর। তড়িৎ-প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক কাহাকে বলে? অ্যাম্পিয়ারের সহিত ইহার সম্পর্ক কী?

19. 'বৃত্তাকার তড়িৎবাহী তার চাকতি-চুম্বকের' ন্যায় আচরণ করে'—উক্তিটি ব্যাখ্যা কর। দ্য লা রিভের ভাসমান ব্যাটারীর বর্ণনা দাও। ইহার দ্বারা কী প্রমাণিত হয়?

20. (a) চৌম্বক ক্ষেত্রে রক্ষিত তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর প্রযুক্ত বল-সংক্রান্ত ফ্রেমিং-এর বামহস্ত সূত্রটি বিবৃত কর।

(b) চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের তত্ত্ব ও কার্যপ্রণালী সংক্ষেপে ব্যাখ্যা কর। ইহাকে কীভাবে অ্যাম্মিটারে পরিণত করা যায়? [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982 ]

21. ফ্রেমিং-এর বামহস্ত মোটর সূত্রটি বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর। [ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987 ] তড়িৎবাহী তারের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া দেখাইবার জন্য একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর।

22. বালোর চক্র বর্ণনা কর। ইহার কার্ধনীতি ব্যাখ্যা কর। [ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1987 ] (i) বর্তনীর প্রবাহমাত্রা বাড়াইলে, (ii) প্রবাহ বিপরীতমুখী করিলে এবং (iii) চুম্বকটি সরাইয়া লইলে বালোর চক্রের গতির কী পরিবর্তন হইবে?

23. গ্যালভানোস্কোপ কাহাকে বলে? একটি চল-চুম্বক গ্যালভানোস্কোপ এবং একটি চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোস্কোপের বর্ণনা দাও এবং ইহাদের কার্ধনীতি ব্যাখ্যা কর। গ্যালভানো-মিটার ও গ্যালভানোস্কোপের পার্থক্য কী?

24. চিত্রের সাহায্যে একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বর্ণনা দাও এবং কার্ধনীতি ব্যাখ্যা কর। এই যন্ত্রের কুণ্ডলী এবং চুম্বক-শলাকাকে একই তলে রাখা হয় কেন? নৃগান্তর ধ্রুবক কাহাকে বলে?

যজ্ঞ তড়িৎ-প্রবাহ এবং বৃত্তাকার তড়িৎ-প্রবাহের দ্বারা উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কীরূপ তাহা পরিষ্কারভাবে বিবৃত কর। [ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980 ]

25. সাইন গ্যালভানোমিটার ও ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের পার্থক্য কী? সাইন গ্যালভানোমিটারের কার্ধনীতি ব্যাখ্যা কর।

26. (a) একটি চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের কার্ধনীতি বিবৃত কর। কীরূপে ইহাকে একটি ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করা যায়?

(b) একটি অ্যাম্মিটার I অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহে পূর্ণ বিক্ষেপ দেখায়। কী ব্যবস্থা গ্রহণ করিলে উহা 10 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহে পূর্ণ বিক্ষেপ দেখাইবে? অ্যাম্মিটারটির রোধ 1 ওহম। [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1980 ]

27. অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। বর্তনীতে ইহাদিগকে কীরূপে ব্যবহার করিতে হয় তাহা একটি চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া বল।

28. ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বর্ণনা দাও এবং ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1981] ইহাকে ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার বলিবার কারণ কি? ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের রূপান্তর-গুণক এবং গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক বলিতে কী বুঝ? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1979]

29. (a) প্রবাহমাত্রার তড়িচ্চুম্বকীয় এককের সংজ্ঞা লিখ। (b) কোন H প্রাবল্য-বিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি আয়তাকার কুণ্ডলী কুলান আছে। কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য  $l$  এবং প্রস্থ  $b$ । ঐ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া  $i$  e. m. u. প্রবাহ প্রেরণ করিলে কুণ্ডলীটিতে ঘে-ঘন ক্রিয়া করিবে তাহা হিসাব কর। (c) একটি গ্যালভানোমিটারকে কীভাবে ভোল্টমিটার হিসাবে ব্যবহার করিবে? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1979]

30. (a) চল-চুম্বক ও চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার কী? (b) ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের ক্ষেত্রে  $i = K \tan \theta$  সূত্রটি প্রতিষ্ঠা কর। (c) অ্যাম্মিটার ও ভোল্টমিটারের মধ্যে পার্থক্য কী কী? (d) একটি ভোল্টমিটারকে কীভাবে অ্যাম্মিটার হিসাবে ব্যবহার করা যায়? [উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1978]

31. একটি কর্কের উপর স্থাপিত অবস্থায় একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলী জলের উপর ভাসিতেছে। ইহাকে একটি সমপ্রাবল্যবিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হইল। কুণ্ডলীটি নিজেই কীরূপে স্থাপন করিবে? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

32. 100 ohm রোধবিশিষ্ট একটি গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া 120 মাইক্রো-অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ গেলে পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ ঘটে। এই গ্যালভানোমিটারকে 2.4 volt পর্যন্ত মাপিতে সক্ষম—এইরূপ একটি ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করিতে হইবে। কীরূপে ইহা করা যাইবে? [সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978]

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

33. 35টি পাকবিশিষ্ট এবং 12 cm গড় ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 4A তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর। [7.33 Oe]

34. 50টি পাকবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 3.5A তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান 8.8 Oe হইলে কুণ্ডলীটির গড় ব্যাস নির্ণয় কর। [25 cm]

35. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 22 cm, পাকসংখ্যা 14 এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান 0.2 Oe। কোন্ তড়িৎ-প্রবাহ এই গ্যালভানোমিটারে 45° বিক্ষেপ ঘটাইবে? [0.5A]

36. প্রেণী-সমবাস্ত্রে যুক্ত দুইটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ অপরটির কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধের তিনগুণ এবং উভয় গ্যালভানোমিটারের পাক-সংখ্যা সমান। যদি শেবোত গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ 60° হয়, তাহা হইলে অপরটির বিক্ষেপ কত হইবে? [আই. এসসি. (কলিকাতা), 1941] [30°]

37. 5Ω রোধবিশিষ্ট একটি ব্যাটারীকে 100টি পাকবিশিষ্ট এবং 60Ω রোধসম্পন্ন একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের সহিত যুক্ত করা হইল। গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ

45°। গ্যালভানোমিটার কুণ্ডলীর 50টি পাকসংখ্যা ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করিলে ইহার বিক্ষেপ কত হইবে ? [42°9' (প্রায়)]

38. 300Ω মানের একটি রোধের মধ্য দিয়া একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারকে একটি ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করিলে ইহার 45° বিক্ষেপ ঘটে। যখন রোধের মান পরিবর্তন করিয়া 800Ω করা হইল তখন গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ হইল 30°। এক্ষেত্রে ব্যাটারী এবং গ্যালভানোমিটারের রোধ কত নির্ণয় কর। [383·06Ω]

39. কোন ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া 3 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ গেলে উহার সূচকটির 60° বিক্ষেপ ঘটে। তড়িৎ-প্রবাহের মান কী হইলে বিক্ষেপের মান 45° হইবে ? [√3 A]

40. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা 50 এবং ইহাদের গড় ব্যাসার্ধ 10 cm ; গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া কী পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ গেলে ইহার 60° বিক্ষেপ হইবে ? (ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ  $H = 0.37$  oersted) [0.2040 A]

41. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর ব্যাস 20 cm। কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা কত হইলে 10 mA তড়িৎ-প্রবাহ ইহার 45° বিক্ষেপ ঘটাইবে ? ধরিয়া লও যে,  $H = 0.36$  oersted) [574]

42. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের এবং একটি তামা-ভোল্টমিটারের শ্রেণী-সমবায়ের মধ্য দিয়া আধ ঘণ্টা ধরিয়া একটি তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ইহাতে তামা-ভোল্টমিটারের ক্যাথোডে 0.4 gm তামা জমা হইল। ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ 30° হইলে গ্যালভানোমিটারটির রূপান্তর-গুণক (reduction factor) কত ?

[ক্রয়েস্ট এন্টোন্স, 1974] [0.116 A]

43. দুইটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের শ্রেণী-সমবায়ের মধ্য দিয়া একটি তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। প্রথম কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ দ্বিতীয় কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধের 3 গুণ এবং উভয়ের পাক-সংখ্যা সমান। দ্বিতীয় গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ 60° হইলে প্রথম গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ কত হইবে ? [ক্রয়েস্ট এন্টোন্স, 1970] [30°]

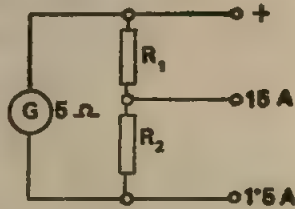
### জটিলতর গাণিতিক প্রশ্নাবলী

44. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার এবং একটি রোপ্য-ভোল্টমিটারকে শ্রেণী-সমবয়ে রাখিয়া কিছুক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ভোল্টমিটারের ক্যাথোডে 5 মিনিট সময়ে 0.112 gm রূপা সঞ্চিত হইল। গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ 30° হইলে গ্যালভানোমিটারের রূপান্তর-গুণক (reduction factor)-এর মান কত ? রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক  $= 0.00112$  gm/C। [উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1985] [0.0577 e.m.u.]

45. 20 cm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট এবং 20টি পাকবিশিষ্ট তারের দ্বারা গঠিত একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর তলকে উল্লম্বভাবে চৌম্বক মধ্যতলে রাখা হইল। ইহার মধ্য দিয়া যখন একটি তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হয় তখন ইহার কেন্দ্রে স্থাপিত একটি ক্ষুদ্র চুম্বক-শলাকা 45° বিক্ষিপ্ত হয়। তড়িৎ-প্রবাহের মান কত ? ( $H = 0.18$  ওয়বরস্টেড)

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1974] [0.287 A]

46. 6.38 নং চিত্রটি লক্ষ্য কর। এখানে চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার G-এর পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ ঘটে 10 mA তড়িৎ-প্রবাহে। চিত্রের অনুবৃত্ত-ভাবে সার্কিটের সাহায্যে ইহাকে দুই পাল্লাবিশিষ্ট আশ্রিতারে রূপান্তরিত করা হইয়াছে।  $R_1$ ,  $R_2$  রোধকগুলির মান নির্ণয় কর। [ $3.3 \text{ m}\Omega$ ,  $30 \text{ m}\Omega$ ]



চিত্র 6.38

47. একটি তড়িৎ-বর্তনীতে একটি ব্যাটারী, একটি রোধ্য ভোল্টমিটার এবং 30টি পাকবিশিষ্ট এবং 24 cm গড় ব্যাসার্ধবিশিষ্ট তারের ট্যানজেন্ট গ্যালভানো-মিটার শ্রেণী-সমবাহারে যুক্ত রাখিয়াছে। যদি এক ঘণ্টায় 1.8 gm রূপা সঞ্চিত হয় তাহা হইলে (i) ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের রূপান্তর-ধ্রুবক এবং (ii) যখন গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ  $45^\circ$  তখন ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান নির্ণয় কর। (রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =  $0.0011182 \text{ gm/C}$ )

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1975] [ $0.0447 \text{ e.m.u.}$   $0.35 \text{ Oe}$ ]

48.  $2\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার এবং একটি রোধবাহকের সহিত একটি তড়িৎ-কোষকে শ্রেণী-সমবাহারে যুক্ত করা হইল। যখন রোধবাহকে  $8\Omega$  স্থাপন করা হইল তখন গ্যালভানোমিটারের  $60^\circ$  বিক্ষেপ ঘটে। কিন্তু যখন রোধবাহকের রোধ  $30\Omega$  তখন ইহার বিক্ষেপ কমিয়া  $30^\circ$  হয়। কোষটির আভ্যন্তরীণ রোধের মান নির্ণয় কর।

[জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1979] [ $1\Omega$ ]

49. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলী উল্লম্ব অক্ষের উপর ঘুরিতে পারে। যখন কুণ্ডলীটিকে চৌম্বক মধ্যতলে রাখিয়া উহার মধ্য দিয়া  $0.5 \text{ A}$  তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হয় তখন গ্যালভানোমিটারের  $45^\circ$  বিক্ষেপ ঘটে। ইহার পর গ্যালভানোমিটারটির মধ্য দিয়া অপর একটি তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল এবং কুণ্ডলীটি ঘুরাইয়া এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে চুম্বক-শলাকাটি সাম্যাবস্থায় কুণ্ডলীর তলে অবস্থান করে। যদি এই সময় গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপের মান  $30^\circ$  হয় তাহা হইলে ইহার মধ্য দিয়া প্রেরিত তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

[ $0.25 \text{ A}$ ]

50.  $0.2 \text{ mm}$  ব্যাসার্ধবিশিষ্ট এবং  $2 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}$  রোধাঙ্কবিশিষ্ট তারের তৈয়ারী 50টি পাকসংখ্যাসম্পন্ন এবং  $10 \text{ cm}$  ব্যাসের একটি কুণ্ডলী তৈয়ারী করা হইল। ইহাকে  $10 \text{ V}$  ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করা হইল। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহ নির্ণয় কর। কুণ্ডলীর কেন্দ্রের ভূ-চৌম্বক-ক্ষেত্রে ( $H = 0.314 \text{ Oe}$ ) প্রতিমিত করিবার জন্য কত বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিতে হইবে?

[আই. আই. টি. আর্ডমিশন টেস্ট, 1964] [ $0.05 \text{ A}$ ]

51. একটি জ্ঞান্য রোধ  $R$  এবং  $G$  রোধসম্পন্ন একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের সহিত শ্রেণী-সমবাহারে একটি ব্যাটারী যুক্ত করা হইল। গ্যালভানোমিটারে  $\alpha$  বিক্ষেপ পাওয়া গেল। জ্ঞান্য রোধটির মান বাড়াইয়া  $R'$  করিলে বিক্ষেপ কমিয়া  $\alpha'$  হয়। দেখাও যে, ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ

$$r = \frac{R' \tan \alpha - R \tan \alpha'}{\tan \alpha - \tan \alpha'} - G$$



52. একটি ক্ষুদ্র চুম্বককে একটি উল্লম্ব বৃত্তাকার কেন্দ্রে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। যখন কুণ্ডলীটি 1.25A তড়িৎ-প্রবাহ বহন করে এবং চৌম্বক মধ্যরেখার সহিত  $30^\circ$  কোণ করে তখন ঝুলন্ত চুম্বকটি পূর্ব-পশ্চিম দিক-রেখা নির্দেশ করে। কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা 10 এবং ব্যাসার্ধ 20 cm হইলে ভূ-চৌম্বক কেন্দ্রের অনুভূমিক উপাংশের মান নির্ণয় কর।

[আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেস্ট, 1971] [0.196 Oe]

53.  $20\Omega$  রোধাবিশিষ্ট একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারকে  $200\Omega$  রোধসম্পন্ন (গ্যালভানোমিটারের রোধসহ) একটি বর্তনীতে যুক্ত করিলে  $60^\circ$  বিক্ষেপ ঘটে। গ্যালভানোমিটারের সমান্তরালভাবে কী মানের সার্কট রোধ যুক্ত করিলে ইহার বিক্ষেপ  $30^\circ$  হইবে?

[9Ω]

54. একটি চল-কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের রোধ  $10\Omega$  এবং ইহা 0.01A তড়িৎ-প্রবাহে পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ দেয়। ইহাকে (i) 150 V পর্যন্ত পাঠ করিবার উপযুক্ত ভোল্ট-মিটারে এবং (ii) 5A পর্যন্ত পাঠ করিবার উপযুক্ত অ্যামিটারে পরিণত করা যায় কীভাবে?

[(i) 14990Ω শ্রেণীতে যুক্ত করিয়া, (ii) 0.02004Ω রোধকে সার্কটরূপে যুক্ত করিয়া]



*It is strange but true ; for truth is always strange,  
stranger than fiction.* —Byron

## 7.1 সূচনা

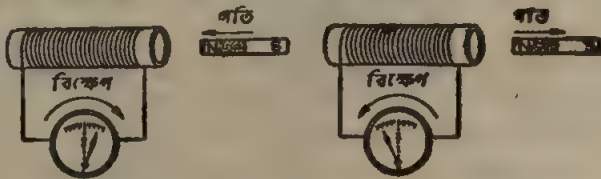
ওয়ারস্টেডের পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হইয়াছিল যে, তড়িৎ-প্রবাহ একটি চৌম্বক-ক্ষেত্রের সৃষ্টি করে। ইহার বিপরীত প্রক্রিয়ারও উদ্ভব হয় কিনা, অর্থাৎ কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি করা যায় কিনা বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে তাহা লইয়া পরীক্ষামূলক গবেষণায় আত্মনিয়োগ করেন। 1831 খ্রীস্টাব্দে তিনি তাঁহার গবেষণায় সাফল্য লাভ করেন। তাঁহার এই সাফল্য তড়িৎ-বিজ্ঞানের ইতিহাসে এক অসাধারণ গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা। ফ্যারাডের এই পরীক্ষা আধুনিক তড়িৎ-প্রযুক্তিবিদ্যার ভিত্তি স্থাপন করিয়াছিল।

ফ্যারাডের পরীক্ষাগুলি হইতে প্রমাণিত হইয়াছে যে, কোন পরিবাহী এবং কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকিলে ঐ পরিবাহীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। এই ঘটনাকে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ (electromagnetic induction) বলা হয়।

## 7.2 তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ-সংক্রান্ত পরীক্ষা

(i) চুম্বক-কর্তৃক আবিষ্ট প্রবাহ (Current induced by magnet) :

একটি কার্ডবোর্ডের চোঙের উপর অন্তরিত তামার তার জড়াইয়া একটি বেলনাকার তারকুণ্ডলী তৈরী করা হইল (চিত্র 7.1)। এই কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত একটি সুবেদী



চিত্র 7.1

গ্যালভানোমিটারের দুই বন্ধনী-স্কু-এর সহিত যুক্ত করা হইল। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া কোন তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে এই গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যাইবে।

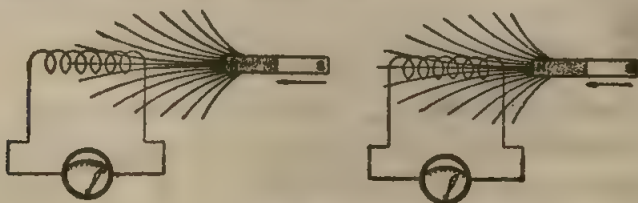
এইবার একটি দণ্ড-চুম্বকের যে-কোন একটি মেরু (ধরা যাক, উত্তর-মেরু) কুণ্ডলীটির মধ্যে দ্রুত প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হইল। দেখা যাইবে যে, গ্যালভানোমিটারে একটি

ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ ঘটিতেছে। চুম্বকটিকে তাড়াতাড়ি কুণ্ডলী হইতে বাহির করিয়া লওয়া হইল। দেখা যাইবে যে, এইবারও গ্যালভানোমিটারে একটি ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ ঘটিতেছে। কিন্তু এই বিক্ষেপ পূর্বের বিক্ষেপের বিপরীতমুখী। ইহাও লক্ষ্য করা যাইবে যে, যতক্ষণ চুম্বকটি কুণ্ডলীর মধ্যে স্থির অবস্থায় থাকে ততক্ষণ গ্যালভানোমিটারে কোনরূপ বিক্ষেপ দেখা যায় না। যতক্ষণ চুম্বকটি কুণ্ডলীর সাপেক্ষে গতিশীল থাকিবে ততক্ষণই গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যাইবে। ইহা হইতে সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, যতক্ষণ কুণ্ডলীর সাহিত চুম্বকের একটি আপেক্ষিক গতি থাকে ততক্ষণ কুণ্ডলীতে একটি তড়িৎ-প্রবাহ চলে। এই প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ (induced current) বলা হয়।

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে যে, (i) কুণ্ডলীতে তারের পাক-সংখ্যা বেশি হইলে বা ব্যবহৃত চুম্বক অধিকতর শক্তিশালী হইলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ বেশি হয়, অর্থাৎ আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের মান বাড়ে। (ii) কুণ্ডলী ও চুম্বকের আপেক্ষিক গতি যত বেশি হয় আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের মানও তত বেশি হইবে। (iii) কুণ্ডলীতে উত্তর-মেরু প্রবেশ করাইলে গ্যালভানোমিটারের যে-দিকে বিক্ষেপ হইবে দক্ষিণ-মেরু প্রবেশ করাইলে উহার বিপরীত দিকে বিক্ষেপ হইবে।

কোন চুম্বক উহার চারিদিকে যে-চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে তাহা চৌম্বক বলরেখার সাহায্যে দেখান হয়। চৌম্বক বলরেখাগুলি উত্তর মেরু হইতে বাহির হয়।

একটি দণ্ড-চুম্বককে একটি কুণ্ডলীর নিকট আনিতে থাকিলে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পায় এবং চুম্বকটিকে কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইয়া লইলে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা হ্রাস পায় (চিত্র 7.2)। সুতরাং,



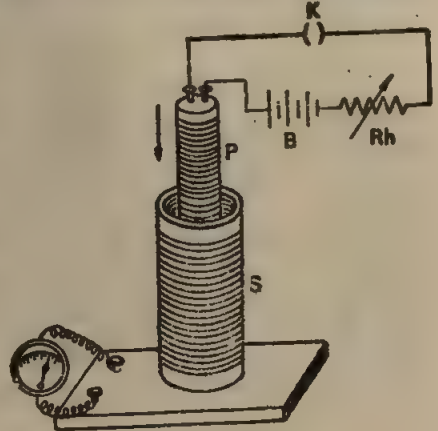
চিত্র 7.2

চুম্বক ও কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকিলে কুণ্ডলীর দ্বারা অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন হয়। কুণ্ডলী-কর্তৃক অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার এই পরিবর্তনের ফলেই কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হয়।

উল্লেখ করা হইয়াছে যে, কুণ্ডলী ও চুম্বকের আপেক্ষিক গতি বেশি হইলে কুণ্ডলী-কর্তৃক অতিক্রান্ত বলরেখার পরিবর্তনের হারও বেশি হয়। সুতরাং বলা যায়, বলরেখার সংখ্যার এই পরিবর্তনের হার যত বাড়িবে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের মানও তত বাড়িবে।

(ii) তড়িৎ-প্রবাহ-কর্তৃক আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ : আমরা জানি যে, কোন সলেনয়েড বা চৌম্বকীত কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহা চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে (6.8 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। সুতরাং, চুম্বকের সাহায্যে যেমন কোন

কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি করা যায়, তড়িৎবাহী সলেনয়েডের সাহায্যেও তেমনি আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। দুইটি কার্ডবোর্ডের চোঙের উপর অন্তরিত তার ঘনভাবে জড়াইয়া দুইটি কুণ্ডলী এমনভাবে প্রস্তুত করা হইল যেন একত্রিত মধ্যে অপরটিকে সহজে প্রবেশ করান যাইতে পারে (চিত্র 7.3)। মোট কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটারের বন্ধনী-কুণ্ডলী দুইটির সহিত যুক্ত করা হইল। এই কুণ্ডলীতে কোন তড়িৎ-প্রবাহ থাকে না। ইহাকে গৌণ কুণ্ডলী (secondary coil) বলা হয়। চিত্রে ইহাকে S-অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। সমু কুণ্ডলীটির সহিত একটি ব্যাটারী (B), একটি পরিবর্তনীয় রোধ বা রিওস্ট্যাট (Rh) এবং একটি টেপা চাবি (K) যুক্ত থাকে। টেপা চাবি টিপিয়া বর্তনী সংহত করিলে এই কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে। এই কুণ্ডলীকে মূখ্য কুণ্ডলী (primary coil) বলা হয়। চিত্রে ইহাকে P-অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।



চিত্র 7.3

প্রথমে গৌণ কুণ্ডলীর বর্তনীতে একটি তড়িৎ-কোষ যুক্ত করিয়া উহার মধ্য দিয়া নির্দিষ্ট অভিমুখে একটি তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। মনে করি, বর্তনীর প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী (clockwise)। গ্যালভানোমিটারের কাঁটা কোন দিকে বিক্ষিপ্ত হইল তাহা দেখা হইল। মনে করি, গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ ডান দিকে। সুতরাং, গ্যালভানোমিটারের কাঁটা ডান দিকে বিক্ষিপ্ত হইলে বৃদ্ধিতে হইবে যে, গৌণ কুণ্ডলীতে দক্ষিণাবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে এবং বামদিকে বিক্ষিপ্ত হইলে বৃদ্ধিতে হইবে যে, গৌণ কুণ্ডলীতে বামাবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে। গৌণ কুণ্ডলীর বর্তনী হইতে তড়িৎ-কোষ সরাইয়া লইয়া শুধু গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া বর্তনী সংহত হইল। মূখ্য কুণ্ডলী P-এর সহিত তড়িৎ-কোষ ও রিওস্ট্যাট যুক্ত করিয়া উহার মধ্য দিয়া একটি নির্দিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইল। ধরা যাক, এই প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী। এইবার পর পর নিম্নোক্ত পরীক্ষাগুলি করা হইল।

(i) তড়িৎবাহী মূখ্য কুণ্ডলীটিকে দ্রুত গৌণ কুণ্ডলী S-এর মধ্যে প্রবেশ করান হইল। দেখা যাইবে, গ্যালভানোমিটারে ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ সৃষ্টি হইল। এই বিক্ষেপের অভিমুখ বামদিকে। ইতিপূর্বে আমরা দেখিয়াছি যে, গৌণ কুণ্ডলীতে বামাবর্তী প্রবাহ পাঠাইলে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বামদিকে বিক্ষিপ্ত হয়। সুতরাং সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, তড়িৎবাহী মূখ্য কুণ্ডলীকে দ্রুত গৌণ কুণ্ডলীর নিকটে আনিতে থাকিলে গৌণ কুণ্ডলীতে মূখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহের বিপরীতমুখী তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হয়।



(ii) মুখ্য কুণ্ডলীকে গোণ কুণ্ডলী হইতে দূত বাহির করিয়া লইলে গ্যালভানো-মিটারের কাঁটা ডান দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে। এক্ষেত্রে গোণ কুণ্ডলীর প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী অর্থাৎ, তড়িৎ-বাহী মূখ্য কুণ্ডলীকে গোণ কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইয়া লইতে থাকিলে গোণ কুণ্ডলীতে সমমুখী তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হয়।

(iii) মুখ্য কুণ্ডলীর বর্তনী ছিন্ন অবস্থায় রাখিয়া উহাকে গোণ কুণ্ডলীর মধ্যে বসান হইল। এইবার টেপা চাবি (K) বন্ধ করিয়া মুখ্য কুণ্ডলীর বর্তনী সংহত করা হইল। ইহাতে ঐ কুণ্ডলীতে দক্ষিণাবর্তী প্রবাহ প্রতিষ্ঠিত হইল। দেখা যাইবে, গোণ কুণ্ডলীর সহিত যুক্ত গ্যালভানোমিটারের কাঁটা ক্ষণিক বাম দিকে বিক্ষিপ্ত হইতেছে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে গোণ কুণ্ডলীতে মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহের বিপরীতমুখী প্রবাহ আবিষ্ট হইতেছে।

(iv) এইবার টেপা চাবিটি ছাড়িয়া দিয়া মুখ্য কুণ্ডলীর বর্তনী ছিন্ন করা হইল। দেখা যাইবে যে, এইবার গ্যালভানোমিটারের কাঁটা ক্ষণিক ডান দিকে বিক্ষিপ্ত হইতেছে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে গোণ কুণ্ডলীতে মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহের সমমুখী প্রবাহ আবিষ্ট হইতেছে।

(v) তড়িৎবাহী মূখ্য কুণ্ডলীকে গোণ কুণ্ডলীর মধ্যে রাখিয়া মুখ্য কুণ্ডলীর বর্তনীর সহিত যুক্ত পরিবর্তনীয় রোধ  $R_h$ -এর মান কমাইয়া দূত তড়িৎ-প্রবাহের মান বাড়ান হইলে দেখা যাইবে যে গোণ কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ সৃষ্টি হইয়াছে। বিক্ষেপের অভিমুখ হইতে সিদ্ধান্তে আসা যাইবে যে, এক্ষেত্রে গোণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহের বিপরীতমুখী।

(vi) তড়িৎবাহী মূখ্য কুণ্ডলীকে গোণ কুণ্ডলীর মধ্যে রাখিয়া মুখ্য বর্তনীর পরিবর্তনীয় রোধের মান বাড়াইয়া দূত তড়িৎ-প্রবাহের মান কমান হইলে দেখা যাইবে যে, গোণ কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ সৃষ্টি হইয়াছে। বিক্ষেপের অভিমুখ হইতে সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, এক্ষেত্রে গোণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহের সমমুখী।

এখানে লক্ষণীয় যে, যখন গোণ কুণ্ডলীর দ্বারা অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পাইতে থাকে তখন আবিষ্ট প্রবাহ মূখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহের বিপরীতমুখী এবং যখন গোণ কুণ্ডলীর দ্বারা অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা হ্রাস পাইতে থাকে তখন আবিষ্ট প্রবাহ মূখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহের সমমুখী হয়।

তড়িৎবাহী মূখ্য কুণ্ডলীকে দূত গোণ কুণ্ডলীর নিকট আনিলে, মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাণ হঠাৎ বাড়াইলে বা ছিন্ন মুখ্য বর্তনী হঠাৎ সংহত করিয়া উহাতে একটি তড়িৎ-প্রবাহ প্রতিষ্ঠা করিলে গোণ কুণ্ডলীর দ্বারা অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। কাজেই, এইসকল ক্ষেত্রে গোণ কুণ্ডলীতে বিপরীতমুখী প্রবাহ আবিষ্ট হয়।

মুখ্য কুণ্ডলীকে দূত গোণ কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইয়া লইলে, মুখ্য কুণ্ডলীকে স্থির রাখিয়া হঠাৎ বর্তনী ছিন্ন করিলে বা রোধের মান বাড়াইয়া হঠাৎ উহার প্রবাহমাণা কমাইলে গোণ কুণ্ডলীর দ্বারা বলরেখার সংখ্যা হ্রাস পায়। কাজেই, এই সকল ক্ষেত্রে গোণ কুণ্ডলীতে সমমুখী প্রবাহ আবিষ্ট হয়।

### 7.3 তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের সূত্র (Laws of electromagnetic induction)

তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সম্বন্ধে পরীক্ষামূলক গবেষণা করিয়া বিজ্ঞানী ফারাডে দুইটি সূত্র এবং বিজ্ঞানী লেন্জ একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। ফারাডের ও লেন্জের সূত্রগুলিকে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের সূত্র বলা হয়। নিম্নে ইহাদের বিবৃত করা হইল।

ফারাডের সূত্র (Faraday's laws) : তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সম্বন্ধে ফারাডের সূত্র দুইটি নিম্নরূপ—

(i) প্রথম সূত্র : কোন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন ঘটিলে উহাতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় এবং যতক্ষণ চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন হইবে ততক্ষণই আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল স্থায়ী হয়।

ফারাডের প্রথম সূত্রটি আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বা আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের স্থায়িত্ব (duration) সম্পর্কিত।

(ii) দ্বিতীয় সূত্র : কোন কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান ঐ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।

ফারাডের দ্বিতীয় সূত্রটি আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বা আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের মান (magnitude) সম্পর্কিত।

লেন্জের সূত্র (Lenz's law) : তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সম্বন্ধে লেন্জের সূত্রটি নিম্নরূপ—

তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ এইরূপ হয় যে, যে-কারণে আবিষ্ট প্রবাহের উদ্ভব হয় আবিষ্ট প্রবাহ সর্বদা সেই কারণকেই বাধা দেয়।

লেন্জের সূত্রটি আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ (direction) সম্পর্কিত। ইহাকে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের তৃতীয় সূত্রও বলা হয়।

ফারাডের সূত্রের ব্যাখ্যা : মনে করি, কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা  $N_1$  এবং অতি ক্ষুদ্র সময়ের অবকাশ  $t$  সেকেন্ড পর ঐ বলরেখার সংখ্যা  $N_2$ । সুতরাং কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হার  $= (N_2 - N_1)/t$

ফারাডের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল,  $e \propto \frac{N_2 - N_1}{t}$

$$\text{বা, } e = K \cdot \frac{N_2 - N_1}{t}$$

তড়িচ্চুম্বকীয় এককে  $K=1$ । আবার, আমরা জানি যে, বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পাইলে গোণ কুণ্ডলীতে মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহের বিপরীতমুখী প্রবাহ আবিষ্ট হয় এবং বলরেখার সংখ্যা হ্রাস পাইলে সমমুখী তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হয়। অর্থাৎ,  $(N_2 - N_1)/t$ -এর মান ধনাত্মক হইলে  $e$ -এর মান ঋণাত্মক এবং  $(N_2 - N_1)/t$ -এর মান ঋণাত্মক হইলে  $e$ -এর মান ধনাত্মক হইবে। অর্থাৎ, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল,

$$e = -(N_2 - N_1)/t$$

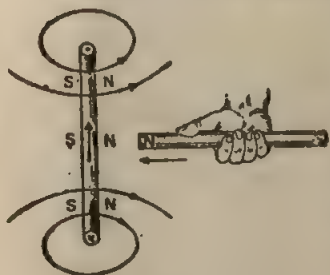
$$\text{কলনবিদ্যার ভাষায় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল, } e = - \frac{dN}{dt} \quad \dots \quad (7.1)$$

## 7.4 লেন্জের সূত্র ও শক্তির সংরক্ষণ সূত্র

(Lenz's law and the law of conservation of energy)

একটি চুম্বকের কোন মেরুকে বা কোন তড়িৎবাহী সলেনয়েডকে একটি বন্ধ কুণ্ডলীর দিকে আনতে থাকিলে বা উঠা হইতে দূরে সরাইয়া লইতে থাকিলে বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হইবে। এই আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ কী হইবে লেন্জের সূত্র প্রয়োগ করিয়া তাহা সহজেই বলা যাইবে। লেন্জের সূত্র প্রকৃতপক্ষে শক্তির সংরক্ষণ সূত্রেরই ভিন্নতর রূপ। নিম্নে আমরা প্রমাণ করিব যে, শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতে সরাসরি লেন্জের সূত্র উপনীত হওয়া যায়।

মনে করি, একটি দণ্ড চুম্বকের N-মেরুকে একটি বন্ধ কুণ্ডলীর দিকে লইয়া যাওয়া



চিত্র 7.4

হইতেছে (চিত্র 7.4)। লেন্জের সূত্রানুসারে, আবিষ্ট প্রবাহ এইরূপ হইবে যে, কুণ্ডলীর দিকে N-মেরুর অগ্রগতি ইহার দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হইবে। স্পষ্টতই, কুণ্ডলীতে প্রবাহের অভিমুখ এইরূপ হইবে বাহ্যতে উহার সম্মুখবর্তী তলে N-মেরুর উদ্ভব হয়। সুতরাং, চুম্বকটি যে-পাশ হইতে কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসর হইতেছে সে-পাশের কোন দশকের চোখে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহ বামাবর্তী হইবে (6.6 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

দেখা যাইতেছে যে, কোন চুম্বক-মেরুকে কোন কুণ্ডলীর দিকে লইয়া আসিতে থাকিলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ-শক্তির উদ্ভব হয়। শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতে আমরা জানি যে, কোন শক্তির রূপান্তর ভিন্ন নূতন কোন শক্তির আবির্ভাব সম্ভব নয়। এক্ষেত্রেও শক্তির সংরক্ষণ সূত্র লিপ্ত হইতেছে না। এখানে লক্ষণীয় যে, কুণ্ডলীর সম্মুখ-তলে সমমেরু আবিষ্ট হয় বলিয়া কুণ্ডলীর দিকে চুম্বকের মেরুর গতি বজায় রাখিতে হইলে দুইটি সমমেরুর পারস্পরিক বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। ইহাতে যে-যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়িত হয় তাহাই কুণ্ডলীতে তড়িৎ-শক্তিরূপে আত্মপ্রকাশ করে। কাজেই, তড়িৎচুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে শক্তির সৃষ্টি লিপ্ত হইয়া না।

শক্তির সংরক্ষণ সূত্র প্রকৃতির একটি অলংঘ্য বিধান। ইহার কোন ব্যতিক্রম নাই। সুতরাং, স্বাভাবিকভাবেই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, তড়িৎচুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রেও ইহা প্রযোজ্য হইবে। এই সূত্রের সত্যতা স্বীকার করিয়া লইলে লেন্জের সূত্রটি সরাসরি পাওয়া যায়।

চুম্বকের একটি মেরুকে কোন কুণ্ডলীর দিকে চালনা করিলে লেন্জের সূত্রানুসারে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ কুণ্ডলীর অগ্রগমনে বাধা সৃষ্টি করিবে। মনে করি, কোন চুম্বকের N-মেরুকে কোন কুণ্ডলীর দিকে একটু আগাইয়া দিলে কুণ্ডলীতে যে-তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হইল তাহা ঐ অগ্রগামী মেরুর গতিতে বাধা না দিয়া বরং সাহায্য করিতেছে, অর্থাৎ কুণ্ডলীর সম্মুখতলে একটি S-মেরুর উদ্ভব হইতেছে। এইরূপ হইলে দুইটি বিপরীত মেরুর পারস্পরিক আকর্ষণের ফলে চুম্বক-মেরুটি আপনা হইতেই কুণ্ডলীর দিকে আগাইতে থাকিবে। ইহাতে কুণ্ডলীতে তড়িৎ-শক্তি উৎপন্ন হইতে থাকিবে, ইহার জন্য কোনরূপ

বাহ্যিক শক্তি ব্যয় করিবারও প্রয়োজন হইবে না। কিন্তু ইহা শক্তির সংরক্ষণ সূত্রের বিরোধী। কাজেই, লেন্‌জের সূত্রটি লিখিত হইলে শক্তির সংরক্ষণ সূত্রটিও লিখিত হইবে।

### 7.5 স্বাভাবিক (Self-induction)

যখন কোন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলে তখন একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হয় এবং ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা ঐ কুণ্ডলীর সহিত জড়িত হয়। কুণ্ডলীর তড়িৎ-প্রবাহ পরিবর্তিত হইলে কুণ্ডলী-কর্তৃক অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যাও পরিবর্তিত হইবে। ইহাতে কুণ্ডলীতে একটি তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হইবে। লেন্‌জের সূত্রানুসারে এই আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ কুণ্ডলীর তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তনের বাধা দিবে। কোন কুণ্ডলীর আপন প্রবাহের পরিবর্তনের ফলে উহাতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হওয়াকে স্বাবেশ (Self-induction) বলা হয়।

কোন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে উহার সহিত যে-সংখ্যক বলরেখা (N) জড়িত হইবে তাহা প্রবাহমাত্রা  $i$ -এর সমানুপাতিক। গণিতের ভাষায় লেখা যায়,

$$N \propto i \text{ বা, } N = Li \quad \dots (7.2)$$

এখানে  $L$  একটি ধ্রুবক। ইহাকে কুণ্ডলীর স্বাবেশ-গুণাঙ্ক (coefficient of self-induction) বলা হয়। সমীকরণ (7.2) হইতে দেখা যাইতেছে যে,  $i=1$  হইলে  $N=L$ । সুতরাং বলা যায় যে, কোন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া একক প্রবাহ গেলে উহার মধ্য দিয়া যে-সংখ্যক বলরেখা অতিক্রান্ত হয় তাহাই ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশ গুণাঙ্ক। আমরা জানি যে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান

$$e = - \frac{dN}{dt}$$

সুতরাং, স্বাবেশের জন্য কোন কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল

$$e = - \frac{dN}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad [\text{সমীকরণ (7.2)}] \quad \dots (7.3)$$

কোন কুণ্ডলীর সহিত একটি তড়িৎ-কোষ যুক্ত করিয়া বর্তনী সংহত করিলে উহাতে একটি তড়িৎ-প্রবাহ চালু হয়। প্রবাহ শুরু হইবার সময় কুণ্ডলীতে সহসা চৌম্বক বলরেখার আবির্ভাব হয়। ইহাতে কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাহা কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ প্রতিষ্ঠান বাধা সৃষ্টি করে। এই বিরুদ্ধ তড়িচ্চালক বলের বলেই বর্তনী সংহত হইবার সঙ্গে সঙ্গে বর্তনীতে স্থির প্রবাহ প্রতিষ্ঠিত হয় না, প্রবাহ আস্তে আস্তে একটি স্থির মানের দিকে পৌঁছায়।

তড়িৎবাহী কোন কুণ্ডলী হইতে হঠাৎ তড়িৎ-কোষ সরাইয়া লইলে ঐ কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা কমিতে থাকে। ফলে উহার মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যাও কমিতে থাকে। ইহাতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাহা কুণ্ডলীর তড়িৎ-প্রবাহের অবলম্বিতিকে বাধা দেয়।

স্বাবেশ-গুণাঙ্কের একক : সমীকরণ (7.2) হইতে আমরা জানি,  $N=L i$



∴ চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হার,  $\left(\frac{dN}{dt}\right) = L \times \text{প্রবাহমাত্রার}$

পরিবর্তনের হার  $\left(\frac{di}{dt}\right)$ । সুতরাং, স্বাবেশ-গুণাঙ্ক  $L$ -এর নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায় :

কোন কুণ্ডলীতে একক হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হইলে  $\left(\frac{di}{dt} = 1 \text{ হইলে}\right)$  ঐ কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে তাহাই সংখ্যাগতভাবে ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশ-গুণাঙ্ক।

(i) পরম একক : কোন কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে 1 e. m. u. হারে তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তন হইলে যদি উহাতে 1 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, তাহা হইলে ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশ-গুণাঙ্ক এক তড়িচ্চুম্বকীয় একক (e. m. u.)।

(ii) ব্যবহারিক একক : কোন কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে 1 অ্যাম্পিয়ার হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হইলে যদি উহাতে 1 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, তাহা হইলে ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশ-গুণাঙ্কে এক হেন্‌রী (henry) বলা হয়। ইহাই স্বাবেশ-গুণাঙ্কের ব্যবহারিক একক।

হেন্‌রী এককটি বড় বলিয়া ব্যবহারিক ক্ষেত্রে সাধারণত মিলি-হেন্‌রী, মাইক্রো-হেন্‌রী ইত্যাদি একক ব্যবহৃত হয়।

$$1 \text{ মিলি-হেন্‌রী (millihenry)} = 10^{-3} \text{ henry}$$

$$1 \text{ মাইক্রো-হেন্‌রী (micro-henry)} = 10^{-6} \text{ henry}$$

(iii) হেন্‌রী এবং তড়িচ্চুম্বকীয় এককের সম্পর্ক :

$$\text{সংজ্ঞানুসারে, আবেশ-গুণাঙ্ক } L = \frac{\text{আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল}}{\frac{di}{dt}}$$

$$\therefore \text{হেন্‌রী} = \frac{\text{ভোল্ট}}{\text{অ্যাম্পিয়ার/সেকেন্ড}}$$

$$= \frac{\text{বিভবের } 10^8 \text{ তড়িচ্চুম্বকীয় একক (e.m.u.)}}{\text{তড়িৎ-প্রবাহের } 1 \text{ তড়িচ্চুম্বকীয় একক/সেকেন্ড}} = \text{আবেশ-গুণাঙ্কের } 10^9 \text{ e.m.u.}$$

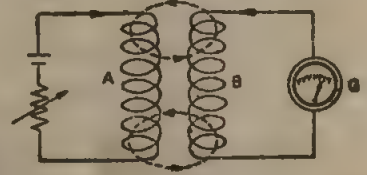
## 7.6 পারস্পরিক আবেশ (Mutual induction)

পাশাপাশি রাখিত দুইটি কুণ্ডলীর যে-কোন একটির মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠান হইলে ঐ প্রবাহের ফলে উৎপন্ন চৌম্বক বলরেখার কিছু অংশ অপর কুণ্ডলীর মধ্য দিয়াও অতিক্রান্ত হইবে। প্রথম কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা পরিবর্তিত হইলে দ্বিতীয় কুণ্ডলীর দ্বারা অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যাও পরিবর্তন হইবে। ফলে দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। এই প্রক্রিয়াকে পারস্পরিক আবেশ (mutual induction) বলা হয়।

মনে করি, A এবং B পাশাপাশি অবস্থিত দুইটি কুণ্ডলী (চিত্র 7.5)। A কুণ্ডলীর সহিত একটি ব্যাটারী এবং একটি পরিবর্তনীয় রোধ যুক্ত রহিয়াছে। B-কুণ্ডলীর দুই

প্রান্তের সহিত একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত করিয়া বর্তনী সংহত করা হইল। পরিবর্তনীয় রোধের মান বদলাইয়া A কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার মান পরিবর্তন করিলে দেখা যাইবে যে, যতক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তন করা হয় ততক্ষণ B কুণ্ডলীর সহিত যুক্ত গ্যালভানোমিটারের কাঁটার একটি বিক্ষেপ সৃষ্টি হয়।

লক্ষণীয় যে, A এবং B কুণ্ডলীর মধ্যে কোন বৈদ্যুতিক যোগাযোগ (electrical connection) নাই। তথাপি A কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন B কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট করিতেছে। ইহার কারণ এই যে, কুণ্ডলীদ্বয় চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা পরস্পর যুগল-বদ্ধ (magnetically coupled)। A কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে ইহা হইতে চৌম্বক বলরেখা নির্গত হইবে। ধরা যাক, কোন মুহূর্তে B কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া N সংখ্যক বলরেখা অতিক্রান্ত হয়। B কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা স্পষ্টতই A কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক। অর্থাৎ,



চিত্র 7.5

$N \propto i$  বা,  $N = Mi$  ... (7.4)

এখানে, M একটি ধ্রুবক, ইহা কুণ্ডলীদ্বয়ের জ্যামিতিক আকার ও আপেক্ষিক অবস্থানের উপর নির্ভরশীল। ইহাকে পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্ক (coefficient of mutual induction or mutual inductance) বলা হয়। A কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা পরিবর্তিত হইলে B কুণ্ডলী-কর্তৃক অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা পরিবর্তিত হইবে। এই আবিষ্ট তড়িচ্চালকের মান ( ফ্যারাডের সূত্র হইতে )

$$e = -\frac{dN}{dt} = -\frac{d}{dt}(Mi) = -M \frac{di}{dt} \quad \dots (7.5)$$

এখন,  $\frac{di}{dt} = 1$  হইলে  $|e| = M$  হইবে। কাজেই পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্কের

নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায় :

চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা যুগল-বদ্ধ (magnetically coupled) দুইটি কুণ্ডলীর মধ্যে যে-কোন একটিতে একক হারে তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তন হইলে অপর কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাহাই কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্কের পরিমাপ।

উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, A কুণ্ডলীর সাপেক্ষে B কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্ক এবং B কুণ্ডলীর সাপেক্ষে A কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্ক পরস্পর সমান।

আবেশ-গুণাঙ্কের নাম পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্কও হেন্রি, মিলি-হেন্রি, মাইক্রো-হেন্রি ইত্যাদি এককে প্রকাশ করা হয়।

## 7.7 রুমকোর্ফের আবেশ-কুণ্ডলী (Ruhmkorff's induction coil)

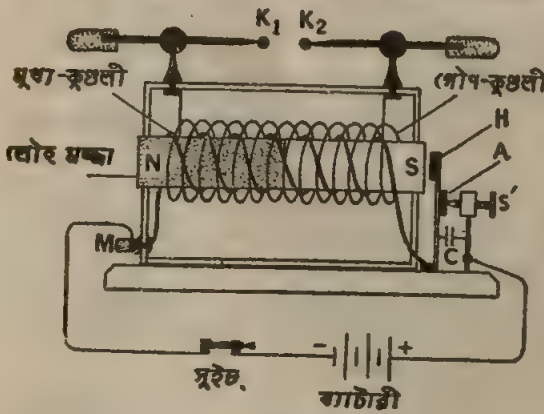
দুইটি কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ কাজে লাগাইয়া নিম্ন মানের বিভব-বৈষম্য হইতে উচ্চ মানের বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিবার জন্য আবেশ-কুণ্ডলী নামক যন্ত্রটি তৈয়ারী

হইয়াছে। সুতরাং বলা যায়, আবেশ-কুণ্ডলী ট্রান্সফর্মারের (transformer) অনুরূপ একটি যন্ত্র। যন্ত্রটির গঠনপ্রণালী ও কার্যপদ্ধতি নিম্নে আলোচিত হইল।

**গঠনপ্রণালী :** 7.6 নং চিত্রে আবেশ-কুণ্ডলীর বিভিন্ন অংশগুলি দেখান হইয়াছে।

(i) **লোহার কোর বা মজ্জা (Core) :** কতকগুলি নরম-লোহার পাতলা পাতকে বা তারকে পরস্পর অন্তরিতভাবে পাশাপাশি রাখিয়া একটি দণ্ড তৈয়ারী করা হয়। ইহাকে কোর বা মজ্জা বলে।

(ii) **মুখ্য কুণ্ডলী :** লোহার কোরটির উপর বেশ মোটা তারের কয়েকটি পাকের একটি কুণ্ডলী জড়ান থাকে। ইহাকে মুখ্য কুণ্ডলী বলা হয়। এই কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত ব্যাটারী B-এর দুই তড়িদ্বারের সাহিত যুক্ত করিয়া উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহ পাঠান হয়। মুখ্য কুণ্ডলীটিকে অন্তরক পদার্থের তৈয়ারী একটি নলের মধ্যে রাখা হয় (চিত্রে এই নলটি দেখান হয় নাই)।



চিত্র 7.6

(iii) **গৌণ কুণ্ডলী :** অন্তরক পদার্থের তৈয়ারী যে-নলটি মুখ্য কুণ্ডলীকে আবৃত রাখে তাহার উপর সন্মুখ তামার তারের বহু সংখ্যক পাক জড়াইয়া গৌণ কুণ্ডলী তৈয়ারী করা হয়। ইহার দুই প্রান্তে দুইটি মোক্ষণ বর্তুল ( $K_1, K_2$ ) যুক্ত থাকে।

ইহাদের দূরত্ব বাড়াইবার ও কমানাইবার ব্যবস্থা থাকে।

(iv) **স্বয়ংক্রিয় ছেদক-সংযোজক (Interrupter) :** বৈদ্যুতিক দৃষ্টান্ত যে-রূপ ব্যবস্থা থাকে সেইরূপ একটি স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থার সাহায্যে মুখ্য কুণ্ডলীকে পর্যায়ক্রমে সংহত ও ছিন্ন করা হয়। ইহার প্রধান অংশ একটি পাতলা ধাতব পাত। ইহার উপরের দিকে নরম লোহার হাতুড়ি H যুক্ত থাকে। এই পাতের গায়ে একটি প্লাটিনামের বোতাম (A) লাগান থাকে। একটি স্ক্রু S' এই বোতামটিকে স্পর্শ করিলে মুখ্য কুণ্ডলীর বর্তনী সংহত (closed) হয়। স্ক্রুটির অগ্রভাগ প্লাটিনামের তৈয়ারী।

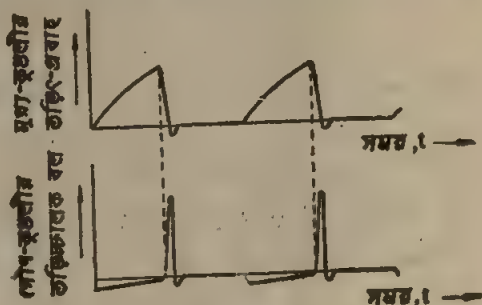
(v) **ধারক বা কন্ডেন্সার (Condenser) :** A এবং S'-এর সংযোগস্থলের সমান্তরালভাবে একটি ধারক C যুক্ত থাকে।

**কার্যনীতি :** A এবং S'-কে স্পর্শ করাইয়া মুখ্য বর্তনী সংহত করিলে মুখ্য কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিতে থাকিবে। ইহাতে যে-চৌম্বক বলরেখা সৃষ্টি হইবে উহার গৌণ কুণ্ডলীকে ছেদ করিবে। কাজেই, তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে। কিন্তু বর্তনী সংহত হইবার সঙ্গে সঙ্গে মুখ্য কুণ্ডলীর লোহার মজ্জা চুম্বকত্ব প্রাপ্ত হইয়া নরম লোহার হাতুড়ি H-কে আকর্ষণ করে, ইহাতে ধাতব পাতটি বাঁকিয়া যায় এবং A ও S'-এর সংযোগ ছিন্ন হয়। ফলে মুখ্য

কুণ্ডলীর প্রবাহ দূত লুপ্ত হইয়া যায়। ইহাতে গৌণ কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে তাহার অভিমুখ মুখ্য বর্তনী ছিন্ন হইলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাহার বিপরীতমুখী।

মুখ্য কুণ্ডলীর স্বাবেশ (self-induction)-এর জন্য বর্তনী সংহত হইবার সঙ্গে সঙ্গে প্রবাহ স্থির মানে পৌঁছায় না, অর্থাৎ এই সময় তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তনের হার কম থাকে; ফলে মুখ্য বর্তনী সংহত হইলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাহার মানও কম হয়। কিন্তু বর্তনী ছিন্ন হইলে আঁত দূত মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা লুপ্ত হয়, এই সময় তড়িৎ-প্রবাহ পরিবর্তনের হার বেশি। কাজেই মুখ্য বর্তনী ছিন্ন হইবার সময় গৌণ কুণ্ডলীতে অনেক বেশি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়।

মুখ্য বর্তনী ছিন্ন হইবার সময় গৌণ কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল পাওয়া যায় তাহার তুলনায় মুখ্য বর্তনী সংহত হইবার সময় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল নগণ্য। সুতরাং, বলা যায়, আবেশ-কুণ্ডলীতে কার্যত একটি সবিবাক্ষ একমুখী তড়িচ্চালক বল পাওয়া যায়। 7.7 নং চিত্রে সময়ের সাহিত মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন এবং গৌণ কুণ্ডলীর তড়িচ্চালক বলের পরিবর্তন ও উহাদের সম্পর্ক লেখচিত্রের সাহায্যে দেখান হইয়াছে।



চিত্র 7.7

ধারকের ক্রিয়া : মুখ্য কুণ্ডলীর স্বাবেশ-গুণাঙ্ক বেশি বলিয়া বোতাম A এবং কু S'-

এর সংযোগ বিচ্ছিন্ন হইলে মুখ্য কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কোন সতর্কতামূলক ব্যবস্থা না লইলে এই তড়িচ্চালক বল A এবং S'-এর মধ্যে ক্রিয়া করিয়া ঐ স্থানে স্ফুলিঙ্গ (spark) সৃষ্টি করিতে পারে। ইহাতে ঐ স্থান ক্ষতিগ্রস্ত হইবে। A এবং S'-এর সংযোগস্থলে সমান্তরালভাবে একটি ধারক ব্যবহৃত হইলে মুখ্য কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল ধারকটিকে আহিত করিবে; ফলে A এবং S'-এর মধ্যে স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হইতে পারিবে না। ইহা ছাড়া, ধারক মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহ-লুপ্তিকে স্তব্ধাশিত করে বলিয়া ইহার ব্যবহারের ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান বেশি হয়।

ব্যবহার : গ্যাস ডিসচার্জ টিউব, এক্স-রে টিউব ইত্যাদির উচ্চ-বিভবসম্পন্ন তড়িৎ-উৎস হিসাবে আবেশ-কুণ্ডলী ব্যবহার করা হইত। ধার্মানিক ভাল্ভ আবিষ্কৃত হইবার পূর্বে বেতার ট্রান্সমিটারে আবেশ-কুণ্ডলী ব্যবহৃত হইত। মোটর গাড়ির গ্যাস জ্বালানিকে প্রজ্বলিত করিবার জন্য যে-স্ফুলিঙ্গ-কুণ্ডলী ব্যবহৃত হয় তাহাও আবেশ-কুণ্ডলীর নীতিতে ক্রিয়া করে।



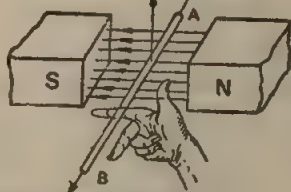
### 7.8 ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত সূত্র

কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি আবদ্ধ পরিবাহী গতিশীল হইলে উহার মধ্যে যে-তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হইবে তাহা ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত সূত্র হইতে পাওয়া যায়।

দক্ষিণ হস্তের তর্জনী, মধ্যমা ও বৃদ্ধাসুষ্ঠ পরস্পরের সমকোণ করিয়া এমনভাবে ধরা হইল যেন তর্জনী চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ ও বৃদ্ধাসুষ্ঠ পরিবাহী গতির অভিমুখ নির্দেশ করে। তাহা হইলে মধ্যমা আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ করিবে। ইহাই ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত সূত্র।

7.8 নং চিত্রে AB পরিবাহীটি চৌম্বক বলরেখার মধ্য দিয়া উল্লম্ব অভিমুখে

গতিতে তারের গতির অভিমুখ



(চিত্রে বৃদ্ধাসুষ্ঠের অভিমুখ) গতিশীল রাখিয়াছে। পরিবাহীর মধ্য দিয়া বলরেখা ডান দিক হইতে বাম দিকে (চিত্রে তর্জনীর অভিমুখে) গিয়াছে। এইরূপ ক্ষেত্রে পরিবাহীতে যে-প্রবাহ আবিষ্ট হইবে তাহার অভিমুখ A হইতে B-এর দিকে (চিত্রে মধ্যমার অভিমুখে)।

আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ

চিত্র 7.8

জেনারেটরে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ কী হইবে তাহা এই সূত্র হইতে জানা যায় বলিয়া এই সূত্রটি দক্ষিণ হস্ত জেনারেটর সূত্র (right hand generator rule) নামেও পরিচিত।

### 7.9 পরিবর্তী প্রবাহ জেনারেটরের কার্যনীতি

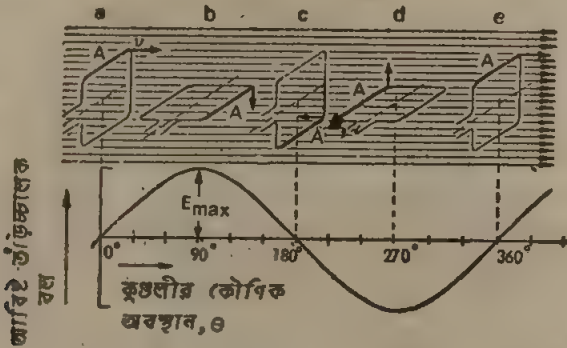
একটি কুণ্ডলীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিয়া ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের লম্বভাবে বিদ্যমান কোন অক্ষ বরাবর ঘুরাইলে কুণ্ডলীর বিভিন্ন অবস্থানে উহার মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি হয়। ইহার ফলে কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান বলরেখার পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক। কুণ্ডলীর সকল অবস্থানে বলরেখার পরিবর্তনের হার সমান নয়। তাহা ছাড়া বলরেখার পরিবর্তনের হার কখনও ধনাত্মক (অর্থাৎ, কখনও সময়ের সহিত বলরেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পায়), আবার কখনও ঋণাত্মক (অর্থাৎ, কখনও সময়ের সহিত বলরেখার সংখ্যা হ্রাস পায়)। ফলে কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাহার মান এবং অভিমুখ সময়ের সহিত পরিবর্তিত হইতে থাকে। ইহাই পরিবর্তী প্রবাহ জেনারেটর (alternating current generator) বা অল্টারনেটর (alternator)-এর মূলনীতি।

7.9 নং চিত্রে কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত একটি কুণ্ডলী দেখান হইয়াছে। ইহার ক্ষেত্রফল S। কুণ্ডলীটি যখন চৌম্বক ক্ষেত্রের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত (a-অবস্থানে) তখন উহার মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা  $= HS$ , এখানে  $H$  = চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য। কুণ্ডলীটি  $90^\circ$  ঘুরিয়া b অবস্থানে আসিলে উহার মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা শূন্য হইবে, কেননা, এই সময় চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কুণ্ডলীর তলের সহিত সমান্তরাল। কাজেই দেখা যাইতেছে যে, কুণ্ডলীটি ঘুরিতে থাকিলে ইহার মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা সময়ের সহিত পরিবর্তিত হইবে।

লক্ষণীয় যে, কুণ্ডলী যখন a-অবস্থানে রহিয়াছে তখন উহার গতির অভিমুখ বল-  
রেখার সাহিত সমান্তরাল। কাজেই উক্ত মুহূর্তে বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হার শূন্য।  
ফলে এই সময় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মানও শূন্য হইবে।

কুণ্ডলী যখন b-অবস্থানে রহিয়াছে তখন উহার গতিবেগের অভিমুখ বলরেখার লম্বাভি-  
মুখী। কাজেই এই সময় বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হার সর্বোচ্চ। এই সময় কুণ্ডলীতে  
আবিষ্ট এই তড়িচ্চালক বলের মানও সর্বোচ্চ হইবে। a-অবস্থান হইতে b-অবস্থানে  
আসিবার সময় কুণ্ডলী-কর্তৃক অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা ধীরে ধীরে কমিতে থাকে।

b-অবস্থান হইতে আরও  $90^\circ$  ঘুরিয়া কুণ্ডলী যখন c-অবস্থানে আসে তখন পুনরায়  
উহার মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যার মান সর্বোচ্চ হয়। এই সময় কুণ্ডলীর  
গতি পুনরায় বলরেখার অভিমুখে। কাজেই এই সময়ও কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক  
বলের মান শূন্য হইবে।



চিত্র 7.9

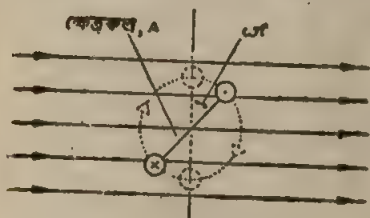
ইহার পর আরও  $90^\circ$  ঘুরিয়া কুণ্ডলী d-অবস্থানে আসে। এই সময় আয়তাকার  
কুণ্ডলীর দুই বাহু বলরেখার অভিমুখে লম্বভাবে গতিগত। এই সময় বলরেখার  
পরিবর্তনের হার সর্বোচ্চ; কাজেই আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মানও সর্বোচ্চ (b-অবস্থানের  
অনুরূপ)। কিন্তু এখানে লক্ষণীয় যে, b-অবস্থানে কুণ্ডলীর A-বাহুর গতির অভিমুখ  
যে-দিকে d-অবস্থানে A-বাহুর গতির অভিমুখ তাহার বিপরীত দিকে। কাজেই ফ্লেমিং-  
এর দক্ষিণ হস্ত সূত্র প্রয়োগ করিয়া বুঝা যায় যে, b-অবস্থানে কুণ্ডলীতে যে-অভিমুখে  
তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে, d-অবস্থানে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের  
অভিমুখ তাহার বিপরীতমুখী।

d-অবস্থান হইতে আরও  $90^\circ$  ঘুরিয়া গিয়া কুণ্ডলীটি e-অবস্থানে আসিবে। এই  
অবস্থানে কুণ্ডলীর গতীয় অবস্থা উহার a-অবস্থানের গতীয় অবস্থার অনুরূপ। কাজেই  
বলা যায়, a-হইতে e-অবস্থানে আসিতে কুণ্ডলী উহার গতির একটি পর্যায়কাল শেষ  
করে। এই পর্যায়কালের বিভিন্ন সময়ে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান ও  
অভিমুখ কীরূপভাবে পরিবর্তিত হইবে তাহা 7.9 নং চিত্রের নিচের অংশে দেখান হইয়াছে।  
পর্যায়কালের প্রথমার্ধে, [কুণ্ডলী a-অবস্থান হইতে c-অবস্থানে আসিবার অবকাশে]  
কুণ্ডলীতে যে-অভিমুখে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, পর্যায়কালের দ্বিতীয়ার্ধে [কুণ্ডলী  
সময়ের যে-অবকাশে c-হইতে e-অবস্থানে আসে] কুণ্ডলীতে উহার বিপরীতদিকে

তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট এই তড়িচ্চালক বলকে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল (alternating electromotive force) এবং কুণ্ডলীর বর্তনী সংহত থাকিলে উহাতে যে-তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হয় তাহাকে পরিবর্তী প্রবাহ (alternating current) বলা হয়।

● আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের গাণিতিক সমীকরণ :

মনে করি, প্রারম্ভিক মুহূর্তে ( $t=0$ ) কুণ্ডলী  $a$  অবস্থানে রহিয়াছে। কুণ্ডলীর



চিত্র 7.10

$$e = -\frac{dN}{dt} = -\frac{d}{dt} (A H \cos \omega t) \quad \dots \quad (ii)$$

$$\text{কিন্তু, } \frac{d}{dt} (\cos \omega t) = -\omega \sin \omega t$$

$$\therefore e = A H \omega \sin \omega t \quad \dots \quad (iii)$$

আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের সর্বোচ্চ মানকে  $E_{max}$  ধরিলে (অর্থাৎ,  $A H \omega = E_{max}$  ধরিলে) আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের গাণিতিক সমীকরণ

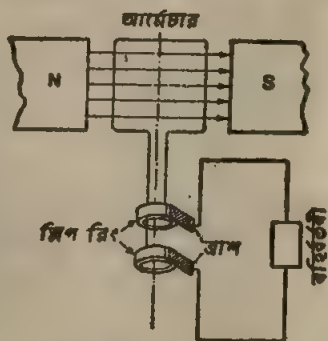
$$e = E_{max} \sin \omega t \quad \dots \quad (7.6)$$

এই সমীকরণ 7.9 নং চিত্রে আঁকিত আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং সময়ের লেখচিত্রটির গাণিতিক রূপ।

### 7.10 পরিবর্তী প্রবাহ জেনারেটর (A. C. Generator)

7.11 নং চিত্রে একটি সরল জেনারেটরের বিভিন্ন অংশ দেখান হইয়াছে। N

এবং S শক্তিশালী স্থায়ী বা তড়িচ্চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেঘ। এই দুই চুম্বক-মেঘের মধ্যবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি আর্মেচার রাখা হয়। সাধারণত একটি নরম লোহার চোঙের উপর একটি তামার তারের বহুসংখ্যক পাক জড়াইয়া এই আর্মেচার তৈয়ারী করা হয়। তবে আলোচনার সুবিধার জন্য আমরা ধরিয়া লইব যে, আর্মেচারে একটি মাত্র আয়তাকার (rectangular) কুণ্ডলী রহিয়াছে। আর্মেচার কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত দুইটি ধাতু-নির্মিত আটো বা স্লিপ রিং (slip ring)-এর সহিত যুক্ত থাকে। দুইটি কার্বন-নির্মিত ব্রাশ (brush) এই স্লিপ রিং দুইটিকে স্পর্শ করিয়া থাকে। ব্রাশ দুইটির সহিত বহির্বর্তনীর দুই



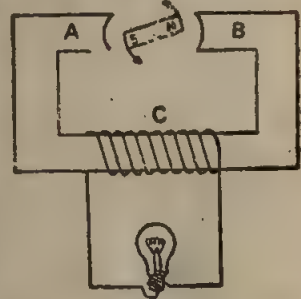
চিত্র 7.11

প্রাপ্ত যুক্ত করা হয়। আর্মেচারের সহিত স্লিপ রিং দুইটি দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ বলিয়া আর্মেচার ঘুরিলে স্লিপ রিং দুইটিও ঘুরিতে থাকে। কিন্তু ব্রাশ দুইটি স্থির থাকে। স্লিপ রিং দুইটি সর্বদা ব্রাশদ্বয়কে স্পর্শ করিয়া ঘোরে।

আর্মেচার ঘুরিতে থাকিলে আর্মেচার-কুণ্ডলীতে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, ফলে বর্তনীর মধ্য দিয়া পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ চলে।

● বাইসাইকেল ডায়নামো (Bicycle dynamo): স্থির চুম্বকের দুই মেয়ুর

মধ্যবর্তী অঞ্চলে একটি কুণ্ডলী ঘুরিতে থাকিলে যেমন ঐ কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তেমনি স্থির কুণ্ডলীর নিকটে একটি চুম্বকে ঘুরাইয়াও কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করা যায়। সাইকেল ডায়নামোতে প্রকৃতপক্ষে তাহাই করা হয়।



বায়ু

চিত্র 7.12

7.12 নং চিত্রে বাইসাইকেল ডায়নামোর বিভিন্ন অংশ দেখান হইয়াছে। ইহাতে একটি কাঁচা লোহার মজ্জার (soft iron core) উপর একটি তার-কুণ্ডলী জড়ান থাকে। লোহার মজ্জার A এবং B প্রান্তের মধ্যবর্তী অঞ্চলে একটি চুম্বক NS ঘুরিতে থাকিলে তার-কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন হইতে থাকিবে। ফলে ঐ কুণ্ডলীতে একটি পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হইবে। সাইকেল ডায়নামোর চুম্বকটি উহার দৈর্ঘ্যের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত একটি অক্ষের উপর ঘুরিতে পারে। চুম্বকের এই অক্ষটি একটি অমসৃণ ছোট চাকার সহিত যুক্ত থাকে। ঐ চাকাটি সাইকেলের ঘূর্ণায়মান চাকাকে চাপিয়া ধরিলে ঘর্ষণের ফলে ইহাও ঘুরিতে থাকে। ইহাতে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় এবং বাতি জ্বলে। সাইকেল ধামিলে চুম্বকটিও আর ঘুরিবে না, ফলে বাতিও নিভিয়া যাইবে।

## 7.11 সমপ্রবাহ জেনারেটর বা ডায়নামো

(D. C. generator or dynamo)

পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহকে একমুখী তড়িৎ-প্রবাহে রূপান্তরিত করিতে স্লিপ-রিং-এর

পরিবর্তে কম্যুটেটর (commutator) ব্যবহার

করা হয়। 7.13 নং চিত্রে যে-কম্যুটেটরটি

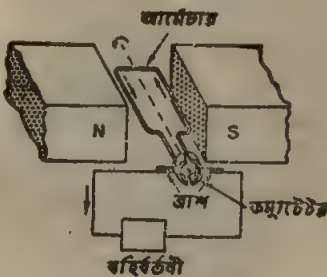
দেখান হইয়াছে তাহা একটি দুই-ভাগে-বিভক্ত

বেলনাকার পরিবাহী। ইহার দুই অংশ পরস্পর

হইতে অন্তরিত (insulated)। কুণ্ডলীর দুই

প্রান্ত কম্যুটেটরের দুই অংশের সহিত যুক্ত

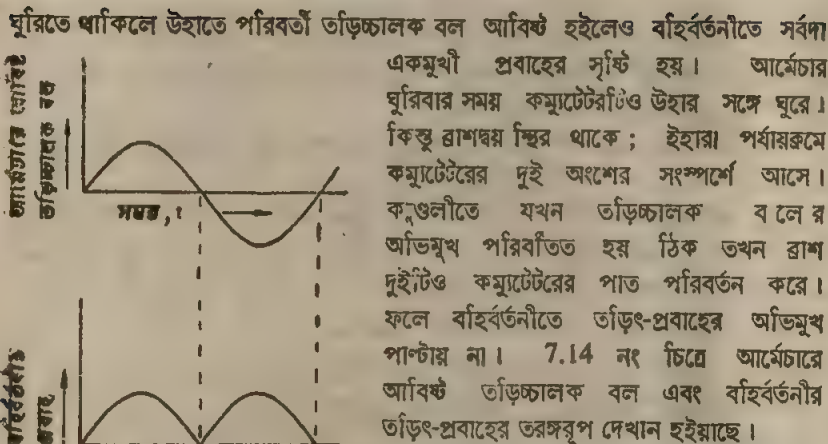
থাকে।



চিত্র 7.13

বর্তনীটিকে দুইটি ব্রাশের সাহায্যে কম্যুটেটরের দুই অংশে যুক্ত করা হয়। আর্মেচার





চিত্র 7.14

লক্ষণীয়, আবিষ্ট তড়িচ্চালকের অভিমুখ পরিবর্তিত হইলেও আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ একমুখী।

### 7.12 বৈদ্যুতিক জেনারেটরের যান্ত্রিক শক্তির উৎস

বৈদ্যুতিক জেনারেটরের যান্ত্রিক শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। তাপীয় বিদ্যুৎ-শক্তি উৎপাদন কেন্দ্রে (thermal power station) সাধারণত বাষ্প-টারবাইন (steam turbine) এই যান্ত্রিক শক্তি যোগায়। কয়লা বা অন্য কোন জ্বালানির সাহায্যে উচ্চ চাপ ও উষ্ণতার জলীয় বাষ্প সৃষ্টি করা হয়। এই বাষ্প একটি ক্ষুদ্র ছিদ্র (nozzle) দিয়া তীব্র গতিবেগে (সুতরাং, প্রচণ্ড গতিশক্তি লইয়া) বাহির হইয়া আসে এবং টারবাইনের ব্লেড (blade)-এ আঘাত করে। জ্বালানির রাসায়নিক শক্তিই বাষ্পের গতিশক্তির উৎস; বাষ্পের গতিশক্তির প্রভাবে টারবাইনে গতি সঞ্চারিত হয়। টারবাইনের অক্ষের সহিত আর্মেচারটি যুক্ত থাকে। কাজেই টারবাইন ঘুরিলে আর্মেচারও ঘুরে, ফলে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। বহির্বর্তনী খোলা থাকিলেও আর্মেচার-কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, কিন্তু এই সময় আর্মেচারে কোন প্রবাহ থাকে না। এই সময় আর্মেচারের গতি (কৌণিক বেগ) বজায় রাখিতে হইলে কেবলমাত্র ঘর্ষণজনিত বাধা অতিক্রম করিতে হয়; এই সময় বাষ্প কেবলমাত্র ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করে। লক্ষণীয় যে, এই সময় তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হইলেও কোন তড়িৎ-শক্তি ব্যয়িত হইতেছে না। ইহাকে জেনারেটরের নো-লোড অবস্থা (no-load condition) বলা হয়।

বহির্বর্তনী সংহত হইলে আর্মেচারের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চালাবে। লেন্সের সূত্রানুসারে, এই আবিষ্ট প্রবাহ আবেশের কারণকে, অর্থাৎ আর্মেচারের ঘূর্ণনকে, বাধা দিবে। এই সময় টারবাইনের গতি বজায় রাখিতে হইলে কেবল ঘর্ষণ-জনিত বলের বিরুদ্ধেই নয়, আবিষ্ট প্রবাহজনিত বাধার বিরুদ্ধেও কার্য করিতে হয়। ইহাতে যৌগিক শক্তি ব্যয়িত হয় তাহার এক অংশ ঘর্ষণ-বল অতিক্রম করিতে ব্যয়িত হয় এবং অপর অংশ বহির্বর্তনীতে তড়িৎ-শক্তি যোগায়। বহির্বর্তনীর প্রবাহ যত বাড়িবে আর্মেচারের প্রবাহজনিত বাধাও তত বেশি হইবে, ফলে টারবাইনের গতি বজায় রাখিতে তত বেশি কার্য করিতে হইবে।

জলবিদ্যুৎ-শক্তি উৎপাদন-কেন্দ্রে (hydroelectric power station) জল-টারবাইন (water turbine)-এর সাহায্যে আর্মেচার ঘুরান হয়। এক্ষেত্রে জলে সঞ্চিত যান্ত্রিক শক্তিই উৎপন্ন তড়িৎ-শক্তির উৎস।

### 7.13 বৈদ্যুতিক মোটর (Electric motor)

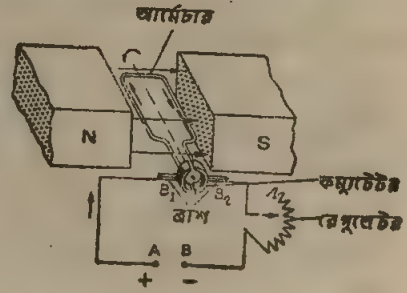
চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন তড়িৎ-বাহী তার রাখিলে উহার উপর একটি বল প্রযুক্ত হয় ইহা আমরা উল্লেখ করিয়াছি (6.7 নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। এই বলের অভিমুখ নির্ধারিত হয় ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত মোটর সূত্রের দ্বারা। তড়িৎ-বাহী কুণ্ডলীর উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের এই ক্রিয়া কাজে লাগাইয়া বৈদ্যুতিক মোটর তৈয়ারী করা হয়। ইহার সাহায্যে বৈদ্যুতিক পাখা, ট্রাম ও রেলগাড়ি, পাম্প ইত্যাদি চালান হয়। এই যন্ত্রে তড়িৎ-শক্তির বিনিময়ে যান্ত্রিক শক্তি উৎপন্ন হয়।

এই যন্ত্রে একটি শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি ঘূর্ণনক্ষম তারের কুণ্ডলী থাকে। ইহাকে আর্মেচার বলা হয়। মোটরের কার্যনীতি বুঝিবার সুবিধার জন্য একটি সরল চিত্র অঙ্কিত করা হইল (চিত্র 7.15)।

ধরা যাক, মোটরের আর্মেচারটি একটি আগ্নেয়াস্ত্রের কুণ্ডলী (প্রকৃতপক্ষে আর্মেচার এইরূপ একাধিক কুণ্ডলী দ্বারা গঠিত)। একটি কম্যুটেটরের দুই প্রান্তের সহিত আর্মেচারের দুই প্রান্ত যুক্ত করা হয়। কম্যুটেটরের দুই অর্ধের সহিত দুইটি ব্রাশ  $B_1$ ,  $B_2$  যুক্ত থাকে।

আর্মেচার বর্তনীর সহিত শ্রেণীতে থাকে একটি রেগুলেটর। ইহার সাহায্যে

বর্তনীর রোধ পরিবর্তন করিয়া আর্মেচারের প্রবাহ বদলান যায়, ফলে উহার উপর ক্রিয়াশীল টর্ক (torque)-এর মান বদলায়। ইহাতে মোটরের ঘূর্ণনের বেগও পরিবর্তিত হয়।



চিত্র 7.15

### প্রবাহ-সংকেত

কোন পরিবাহী এবং কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের আপেক্ষিক গতি থাকিলে ঐ পরিবাহীতে একটি তড়িচ্চালক বল-আবির্ভব হয়। এই ঘটনাকে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ বলা হয়। তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সম্পর্কে বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডের সূত্র দুইটি নিম্নে বিবৃত হইল :

**প্রথম সূত্র :** কোন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন ঘটিলে উহাতে একটি তড়িচ্চালক বল আবির্ভব হয় এবং যতক্ষণ চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন হয় আবির্ভব তড়িচ্চালক বল ততক্ষণই স্থায়ী হয়।

**দ্বিতীয় সূত্র :** কোন কুণ্ডলীতে আবির্ভব তড়িচ্চালক বলের মান ঐ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।

তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ কী হইবে তাহা লেন্জের সূত্র হইতে পাওয়া যায়। নিম্নে এই সূত্রটি বিবৃত করা হইল।

তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ এইরূপ হইবে যে, যে-কারণে আবিষ্ট প্রবাহের উদ্ভব হয় আবিষ্ট প্রবাহ সেই কারণকেই বাধা দেয়।

শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতেই লেন্‌জের সূত্রে উপনীত হওয়া যায়।

কোন কুণ্ডলীর আপন তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তনের ফলে উহাতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হওয়াকে স্বাবেশ (self induction) বলা হয়। কোন কুণ্ডলীতে একক হারে তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তন হইলে  $\left(\frac{di}{dt} = 1 \text{ হইলে}\right)$  ঐ কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় উহার সাংখ্যিক মান কুণ্ডলীর স্বাবেশ-গুণাঙ্কের সমান।

একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তন ঘটিলে উহার সন্নিবর্তিত অন্য কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইতে দেখা যায়। এই ঘটনাকে পারস্পরিক আবেশ বলা হয়। একটি কুণ্ডলীতে একক হারে তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তন হইলে অন্য কুণ্ডলীতে যে-তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাহার সাংখ্যিক মানকে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্ক বলা হয়।

স্বাবেশ-গুণাঙ্ক এবং পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্কের ব্যবহারিক একক হইল হেনরি।

রুমকর্ফের আবেশ-কুণ্ডলীর কার্যনীতি পারস্পরিক আবেশ ক্রিয়ায় উপর নির্ভর করে। এই যন্ত্রের মুখ্য কুণ্ডলীতে স্বয়ংক্রিয় ছেদক-সংযোজকের ক্রিয়ায় তড়িৎ-প্রবাহের পরিবর্তন ঘটান হয়। ইহার ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে উচ্চমানের তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়।

কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি বদ্ধ পরিবাহী গতিশীল হইলে উহার মধ্যে যে-তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হয় তাহার অভিমুখ ফ্লেমিং-এর দক্ষিণহস্ত সূত্র হইতে পাওয়া যায়।

পরিবর্তী প্রবাহ জেনারেটর এবং ডায়নামোর কার্যনীতি তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের উপর নির্ভরশীল। এই দুই যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়।

## প্রশ্নাবলী 7

### হুম্বোল্ডের প্রশ্নাবলী

1. তোমাকে একটি তারের কুণ্ডলী দেওয়া হইল। ইহার দুই প্রান্ত একটি সুবর্ণী গ্যালভানোমিটারের সহিত যুক্ত করা হইল। (i) একটি দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরু খুব দ্রুত কুণ্ডলীর ভিতর প্রবেশ করাইলে, (ii) চুম্বকটি কুণ্ডলীর ভিতর রাখিয়া দিলে এবং (iii) কুণ্ডলীর ভিতর হইতে চুম্বকটি বাহির করিয়া আনিলে কী ঘটবে? কারণসহ ব্যাখ্যা কর।

[উচ্চ মাধ্যমিক (দ্বিপদ্য), 1984]

2. নিম্নোক্ত পরীক্ষাগুলির সময় একটি বদ্ধ কুণ্ডলীর মধ্যে দিয়া কোন দিকে তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে তাহা কারণসহ লিখ : (i) একটি চুম্বকের উত্তর-মেরুকে কুণ্ডলীর এক প্রান্তের দিকে দ্রুত আনা হইল। (ii) একটি চুম্বকের দক্ষিণ-মেরুকে উত্তর প্রান্ত হইতে দ্রুত সরানো হইল।

[উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1984]

3. শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতে লেন্‌জের সূত্রটি প্রতিষ্ঠা করা যায় কি?

4. ফ্যারাডের প্রথম সূত্র হইতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের স্থায়িত্ব (duration) সম্বন্ধে

এবং দ্বিতীয় সূত্র হইতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান (magnitude) সম্বন্ধে জানা যায়' ব্যাখ্যা কর।

5. লেন্সের সূত্র প্রয়োগ করিয়া নিম্নোক্ত ক্ষেত্রগুলিতে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ কী হইবে ব্যাখ্যা কর—যখন কোন চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে ( ) একটি কুণ্ডলীর নিকট আনা হইতেছে, (ii) যখন কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইয়া লইয়া যাওয়া হইতেছে।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1965 ]

6. আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের (i) স্থানীয়, (ii) অভিমুখ এবং (iii) মান কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1961 ]

7. তোমাকে সুবেদী গ্যালভানোমিটারের সহিত যুক্ত একটি কুণ্ডলী দেওয়া হইল। (i) দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরুকে দ্রুত ঐ কুণ্ডলীতে প্রবেশ করাইলে, (ii) চুম্বকটিকে কুণ্ডলীর মধ্যে স্থিরভাবে রাখিলে এবং (iii) চুম্বকটিকে কুণ্ডলী হইতে দ্রুত বাহির করিয়া আনিলে কী হইবে তাহা যুক্তিসহ আলোচনা কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1960 ]

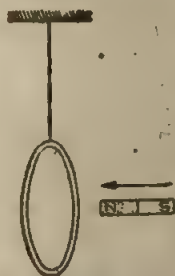
8. একটি বৃত্তাকার বন্ধ কুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর একটি চৌম্বকী দণ্ড-চুম্বক রাখা আছে। দণ্ড-চুম্বককে উহার অক্ষের উপর ঘুরাইলে ঐ কুণ্ডলীতে কোন তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হইবে কি ? যুক্তিসহ উত্তর দাও।

[ আই. আই. টি অ্যাডমিশন টেস্ট, 1972 ]

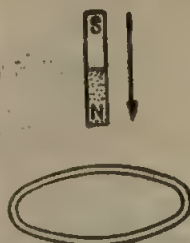
9. ডায়নামোতে যে-তড়িৎ-শক্তি উৎপন্ন হয় সেই তড়িৎ শক্তির উৎস কী ?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ) 1985 ]

10. একটি তামার কুণ্ডলীকে একটি সূতার সাহায্যে একটি উল্লম্ব তলে ঝুলাইয়া রাখা হইয়াছে। একটি ইম্পাত দণ্ডকে অনুভূমিক অভিমুখে ঐ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া চালনা করা হইল এবং ইহার পর একইভাবে এক দণ্ড-চুম্বককে উহার মধ্য দিয়া চালনা করা হইল ( চিত্র 7.16 )। ইম্পাত দণ্ড এবং চুম্বকটির গতি কি কুণ্ডলীর অবস্থানকে প্রভাবিত করিবে ?



চিত্র 7.16



চিত্র 7.17

11. একটি স্থায়ী দণ্ড-চুম্বক ধাতব আংটার মধ্য দিয়া ঝাড়াভাবে নিচে পড়িতেছে ( চিত্র 7.17 )। চুম্বকটি কি অবশ্যে পতনশীল বলের স্বরণ লইয়া নিচে পড়িবে ?

12. দুইটি সদৃশ বৃত্তাকার কুণ্ডলী A এবং B পরস্পর সমান্তরালভাবে রাখা হইল বাহ্যতে উহাদের কেন্দ্রবিন্দু একই অক্ষের উপর থাকে। A কুণ্ডলী হইতে দেখিলে দেখা যাইবে যে, B কুণ্ডলীটির মধ্য দিয়া দক্ষিণাবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ I প্রবাহিত হইতেছে। যখন (i) B কুণ্ডলীর তড়িৎ-প্রবাহ বাড়ে, (ii) যখন কুণ্ডলী B-এর তড়িৎ-প্রবাহ স্থির রাখিয়া উহাকে A



কুণ্ডলীর দিকে আনা হয় তখন B কুণ্ডলীর দিক হইতে দেখিলে A কুণ্ডলীর আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ কী হইবে? [ আই. আই. টি অ্যাডমিশন টেস্ট, 1971 ]

13. (i) তারের একটি বন্ধ কুণ্ডলীর দিকে একটি চুম্বককে আনিতে থাকিলে কী হইবে? (ii) চুম্বকটিকে কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইতে থাকিলে কী হইবে? (iii) চুম্বকটিকে স্থির রাখিয়া কুণ্ডলীকে যদি কাছের আনা কিংবা দূরে সরান হয় তাহা হইলে কী হইবে? (iv) কুণ্ডলী এবং চুম্বককে একই দিকে এবং একই বেগে সরাইলে কী হইবে?

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

14. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ কাহাকে বলে? কয়েকটি তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ-সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্র দুইটি লিখ। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ কীভাবে নির্ধারণ করিবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1981, 1983 ]

15. (a) তোমাকে (i) একটি কোষের সহিত যুক্ত একটি তারের কুণ্ডলী, (ii) একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটারের সহিত যুক্ত অপর একটি তারের কুণ্ডলী এবং (iii) একটি দণ্ড-চুম্বক দেওয়া হইল। তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ দেখাইবার জন্য ইহাদের সাহায্যে কী পরীক্ষা করিবে?

(b) তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সম্পর্কে ফ্যারাডের সূত্রগুলি বিবৃত কর। (c) একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন পরিবাহী চলমান হইলে উহাতে তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হয়। এই আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ কীরূপে নির্ণয় করিবে? (d) লেন্জের সূত্রটি বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]

16. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ-সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্র দুইটি লিখ। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ কীরূপে নির্ধারণ করিবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1978 ]

17. (a) তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ-সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্রগুলি লিখ। কীভাবে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের দিক নির্ণয় করিবে? দেখাও যে, শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতে লেন্জ-এর সূত্রটি পাওয়া যায়।

(b) চুম্বকীয় ফ্লাক্স ঘনত্ব এবং আবেশ গুণাক্ষের সংজ্ঞা দাও।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1981 ]

18. আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ পাইবার তিনটি বিভিন্ন পদ্ধতি আলোচনা কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1967 ]

19. কোন কুণ্ডলীর আবেশ-গুণাক্ষ বলিতে কী বুঝ? দুইটি কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ-গুণাক্ষ কাহাকে বলে? আবেশ-গুণাক্ষ এবং পারস্পরিক আবেশ-গুণাক্ষের ব্যবহারিক একক কী?

20. চিত্রের সাহায্যে মুমকর্ষের আবেশ-কুণ্ডলীর বিভিন্ন অংশের বর্ণনা কর। ইহার কার্য-প্রণালী ব্যাখ্যা কর। আবেশ-কুণ্ডলীর ব্যবহৃত ধারকটির উপযোগিতা কী?

21. চিত্রের সাহায্যে একটি পরিবর্তী প্রবাহ জেনারেটরের বিভিন্ন অংশ দেখাও এবং কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

22. বৈদ্যুতিক মোটরের কার্যনীতি বর্ণনা কর।

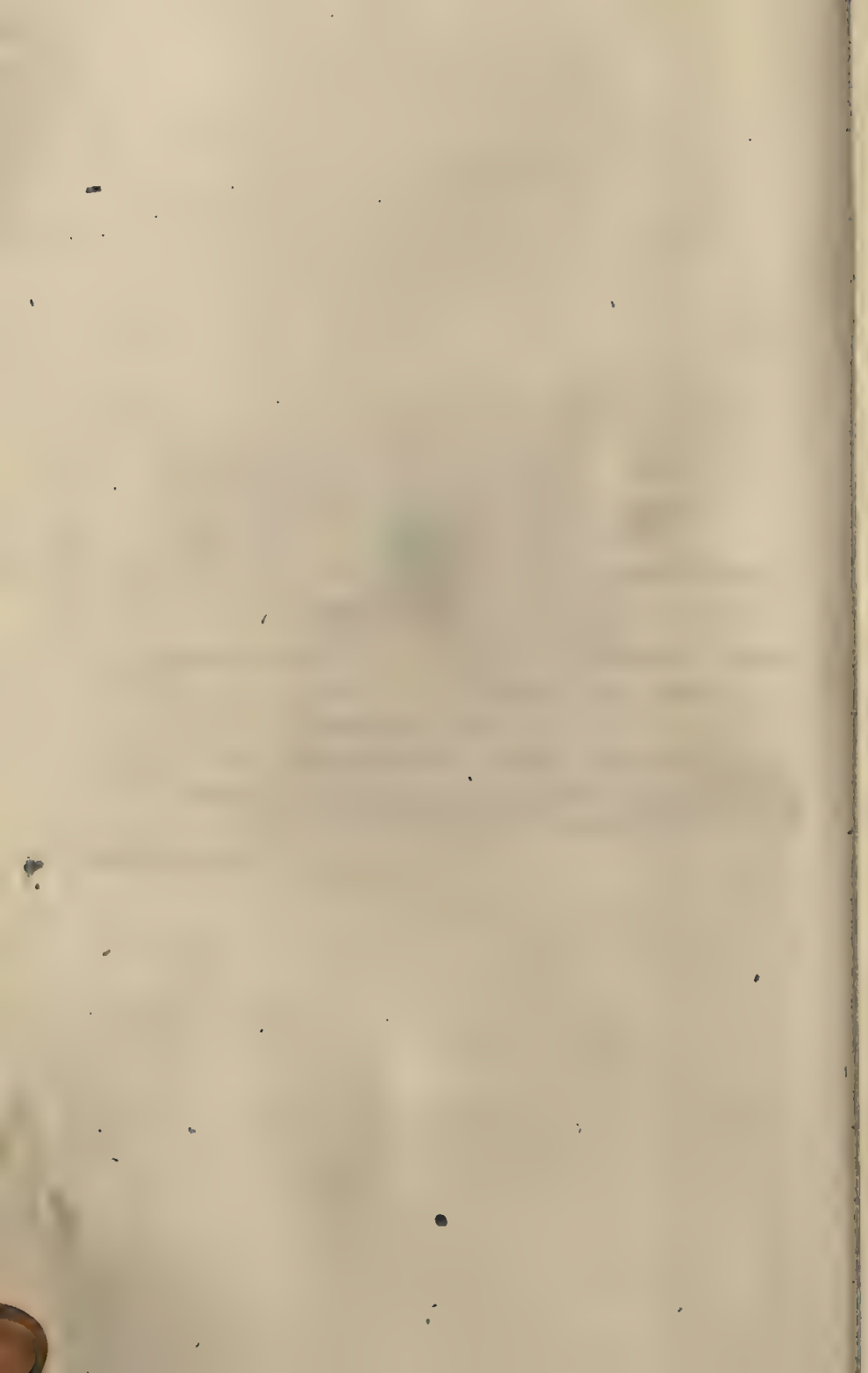
23. টীকা লিখ : (i) মুমকর্ষের আবেশ-কুণ্ডলী [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1979 ]  
(ii) বৈদ্যুতিক মোটর, (iii) ডায়নামো।



## আধুনিক গদার্থবিজ্ঞান

*Modern man is the victim of the very instruments he values most. Every gain in power, every mastery of natural forces, every scientific addition to knowledge, has proved potentially dangerous, because it has not been accompanied by equal gains in self-understanding and self-discipline.*

—Lewis Mumford





## গ্যাসের তড়িৎ-বাহিতা, ক্যাথোড-রশ্মি ও এক্স-রশ্মি

*Science is living, and living things develop.—Andrade*

### 1.1 সূচনা

উনবিংশ শতাব্দীর শেষ দশকে কতকগুলি যুগান্তকারী আবিষ্কারের ফলে পদার্থ-বিজ্ঞানের এক নতুন শাখার উদ্ভব হইয়াছে। ইহাকে আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান বলা হয়। গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ-সংক্রান্ত পরীক্ষা করিতে গিয়াই পদার্থবিজ্ঞানের এই শাখার গোড়াপত্তন হয়। নিম্নচাপের গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ-সংক্রান্ত গবেষণাকালে বিজ্ঞানী জে. জে. টমসন ইলেকট্রন আবিষ্কার করেন। ক্যাথোড-রশ্মি লইয়া গবেষণাকালে অধ্যাপক রব্টগেন আকস্মিকভাবে এক্স-রশ্মি আবিষ্কার করেন।

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের প্রধান আলোচ্য হইল পরমাণুর আভ্যন্তরীণ গঠন। বিংশ শতাব্দীর বিপুল সংখ্যক প্রখ্যাত পদার্থবিজ্ঞানীর তাত্ত্বিক ও পরীক্ষাভিত্তিক গবেষণার ফলে আমরা সূক্ষ্ম পরমাণুর জগৎ সম্বন্ধে নানা তথ্য সংগ্রহ করিতে সমর্থ হইয়াছি। গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ করিলে গ্যাস হইতে যে-আলো নিঃসৃত হয় তাহার বর্ণালী-সংক্রান্ত গবেষণা পরমাণুর গঠন-সম্পর্কিত নানা বিষয়ে আলোকপাত করিয়াছে। সনাতন বলবিজ্ঞান (classical mechanics)-এর সাহায্যে হাইড্রোজেন বর্ণালীর ব্যাখ্যা করিতে না পারিয়া প্রখ্যাত বিজ্ঞানী নীল্‌স্ বোর (Neils Bohr) পরমাণুর ইলেকট্রনের কক্ষপথ সম্বন্ধে তাঁহার যুগান্তকারী 'কোয়ান্টাম শর্তাবলী' (quantum conditions) উপস্থাপন করেন। ইহার পর সমারফেল্ড, উইলসন, গাউড্‌স্মিথ, পাউলি প্রমুখ বিজ্ঞানীর গবেষণায় পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে নানা বিষয় স্পষ্ট হইয়া উঠিল। প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা, কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা, কেন্দ্রক বিভাজন ইত্যাদি আবিষ্কারের ফলে পরমাণুর নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রকের গঠন সম্বন্ধে নানা তথ্য পাওয়া গিয়াছে। 'আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান' অধ্যায়ে বিংশ শতাব্দীর পদার্থবিজ্ঞানের এই সকল বিষয় লইয়া সংক্ষেপে আলোচনা করা হইবে।

### 1.2 গ্যাসের তড়িৎ-পরিবাহিতা

স্বাভাবিক চাপ ও উষ্ণতায় গ্যাস বিদ্যুতের কুপরিবাহী। সুতরাং, একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ বীক্ষণ যন্ত্রকে আহিত করিয়া শুষ্ক বায়ুতে রাখিলে উহার বহুমুখ আহিত অবস্থায়



থাকার কথা। কিন্তু উইলসন ও রাদারফোর্ড লক্ষ্য করেন যে, সকল প্রকার সতর্কতা মূলক ব্যবস্থা-সত্ত্বেও আহিত স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র ধীরে ধীরে আধান হারাইয়া তড়িৎ-শূন্য হইয়া পড়ে। পরে সেই ঘটনার ব্যাখ্যা পাওয়া গেল। দেখা গেল যে, বায়ুতে আয়নের উপস্থিতিই এই পরিবাহিতার কারণ।

গ্যাসের অণু বা পরমাণু স্বাভাবিক অবস্থায় নিষ্কৃতি। অর্থাৎ, ইহাদের ঋণাত্মক তড়িদাহিত ইলেকট্রনের সংখ্যা এবং ধনাত্মক তড়িদাহিত প্রোটনের সংখ্যা সমান। যদি কোন উপায়ে নিষ্কৃতি পরমাণু বা পরমাণুপুঞ্জ হইতে এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন করা যায় তাহা হইলে পরমাণু বা পরমাণুপুঞ্জের অবশিষ্টাংশ ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত হইয়া পড়ে। ইহাকে বলা হয় ধনাত্মক আয়ন (positive ion)। আবার কোন নিষ্কৃতি পরমাণু বা পরমাণুর সহিত এক বা একাধিক ইলেকট্রন যুক্ত হইলে ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত হইয়া পড়ে। ইহাকে বলা হয় ঋণাত্মক আয়ন (negative ion)। যে-প্রক্রিয়ার সাহায্যে এইরূপ আয়ন সৃষ্টি করা হয় তাহাকে আয়নায়ন (ionisation) বলা হয়।

গ্যাসকে আয়নিত করিলে উহার পরিবাহিতা অনেক গুণ বৃদ্ধি পায়। গ্যাসকে আয়নিত করিবার নানাবিধ পদ্ধতি রহিয়াছে।

(i) উচ্চ শক্তিসম্পন্ন আহিত কণিকার দ্বারা গ্যাসকে আয়নিত করা যায়। উচ্চ গতিবেগসম্পন্ন ইলেকট্রন (বা, বিটা-কণিকা), আলফা-রশ্মি, মহাজাগতিক রশ্মি ইত্যাদির প্রভাবে নিষ্কৃতি অণু বা পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হইতে পারে।

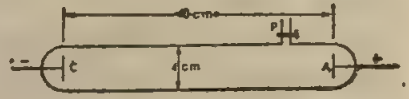
(ii) এক্স-রশ্মি, গামা-রশ্মি, অতিবেগুনি রশ্মি ইত্যাদি ক্ষুদ্র তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যসম্পন্ন তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের প্রভাবেও গ্যাস আয়নিত হয়।

(iii) ইহা ছাড়া, গ্যাসকে উত্তপ্ত করিলেও উহা আয়নিত হয়, ফলে উহার পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়।

### 1.3 নিম্নচাপে গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ

অল্প চাপের গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎমোক্ষণ করিলে নানা নূতন ও গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা প্রত্যক্ষ করা যায়। এইসব ঘটনার সাহায্যে পদার্থের অণু এবং তড়িৎের প্রকৃতি সম্বন্ধে নানা তথ্য জানা যায়। যে-পরীক্ষা-ব্যবস্থার সাহায্যে এই সকল ঘটনা পর্যবেক্ষণ করা যায় তাহার প্রধান অংশ হইল একটি মোক্ষণ-নল (discharge tube)। 1.1 নং চিত্রে ইহা দেখান হইয়াছে। ইহা একটি শক্ত কাচের নল। ইহাতে চাকতির আকারের দুইটি ধাতব তড়িদ্বার রহিয়াছে। চিত্র ইহাদিগকে C এবং A অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে। এই কাচের নলের গায়ে একটি সরু পার্শ্বনল P যুক্ত আছে। ইহার সহিত বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প এবং চাপ-মাপকযন্ত্র যুক্ত করা হয়। একটি শক্তিশালী আবেশ-কুণ্ডলীর গৌণ কুণ্ডলীর সহিত এই নলের দুই তড়িদ্বার যুক্ত থাকে। আবেশ-কুণ্ডলী সমযুগ্মী তড়িৎ-প্রবাহ (direct current) সরবরাহ

করে না (‘প্রবাহী তড়িৎ’ অধ্যায়ের সপ্তম পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য), তবে ইহার গৌণ কুণ্ডলীতে যে বিভব-বৈষম্য উৎপন্ন হয় তাহা কার্যত সমযুখী। নলের যে-তড়িদ্বারাটি কার্যত ধনাত্মক তাহাকে অ্যানোড এবং যে তড়িদ্বারাটি কার্যত ঋণাত্মক তাহাকে ক্যাথোড বলা হয়। 1.1 নং চিত্রে ক্যাথোড ও অ্যানোডকে যথাক্রমে C এবং A অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।

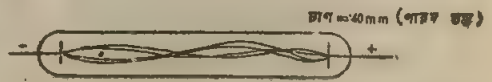


চিত্র 1.1

নলের দুই প্রান্তের সহিত আবেশ-কুণ্ডলী যুক্ত করিয়া বায়ু-নিষ্কাশক পাম্পের সাহায্যে মোক্ষণ-নল হইতে বায়ু বাহির করিয়া লইতে থাকিলে এক সময় গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু হইবে। নলের চাপ কমাতে থাকিলে মোক্ষণস্তম্ভের রূপ পরিবর্তিত হইতে থাকে। এই পরিবর্তনের কয়েকটি সুনির্দিষ্ট ধাপ রহিয়াছে। কোন্ চাপে নলের মোক্ষণস্তম্ভ দেখিতে কীরূপ হইবে তাহা নলের আকার, বিশেষ করিয়া নলের দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করিবে। নিম্নে যে-উপাত্তগুলি (data) উল্লেখ করা হইয়াছে উহার 40 cm কার্যকর দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এবং 4 cm ব্যাসবিশিষ্ট নলের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। কার্যকর দৈর্ঘ্য বলিতে দুইটি তড়িদ্বারের ব্যবধান বুঝিতে হইবে (চিত্র 1.1)।

আবদ্ধ বায়ুর চাপ যখন বায়ুমণ্ডলীয় চাপের সমান তখন নলের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ করিতে হইলে প্রায় চার বা পাঁচ লক্ষ ভোল্ট বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিতে হয়। এই সময় নলের মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-মোক্ষণ হয় তাহা দেখিতে অনেকটা বিদ্যুৎ-চমক (lightning)-এর ন্যায়। এই সময় বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের সহিত কড়্-কড়্ শব্দ উৎপন্ন হয়। চাপ কমাইয়া

প্রায় 40 mm পারদস্তম্ভের চাপের সমান করিলে নলের দুই তড়িদ্বারে প্রায় 10,000



চিত্র 1.2 (a)

ভোল্ট বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিয়াই তড়িৎ-মোক্ষণ করা সম্ভব হইবে। এই সময় মোক্ষণ-নলে ঈষৎ বেগুনি রঙের অবিদ্যুত অগ্নিস্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হয়। এই অবস্থায় তড়িৎ-মোক্ষণের সময় কড়্-কড়্ শব্দ সৃষ্টি হয় [চিত্র 1.2 (a)]।

চাপ আরও কমাইয়া প্রায় 10 mm পারদস্তম্ভের চাপের সমান করিলে আলোক-



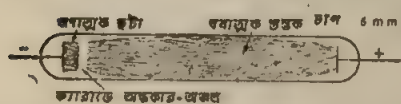
চিত্র 1.2 (b)

ছটাগুলি প্রাপ্ত হইয়া প্রায় নলের সমগ্র প্রস্থচ্ছেদে ব্যাপ্ত হইয়া পড়ে [চিত্র 1.2 (b)]। গাইস্‌লার নল (Geissler

tube)-এ এই মানের চাপ ব্যবহার করা হয় বলিয়া এই অবস্থায় নলের আংশিক

শূন্যতাকে গাইসলার শূন্যতা (Geissler vacuum) বলা হয়। এই সময় গ্যাস হইতে যে-আলো নির্গত হয় তাহার রঙ নলের মধ্যবর্তী গ্যাসের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। বায়ুর ক্ষেত্রে এই রং গোলাপী, নিয়নের ক্ষেত্রে লাল, কার্বন ডাই-অক্সাইডের ক্ষেত্রে নীল ইত্যাদি।

গ্যাসের চাপ আরও কমিয়া যখন প্রায় 6 mm পারদস্তম্ভের চাপের সমান হয় তখন ক্যাথোডের নিকট একটি অন্ধকার অঞ্চল সৃষ্টি হয় [চিত্র 1.2 (c)]। ইহাকে



চিত্র 1.2 (c)

ফ্যারাডে অন্ধকার অঞ্চল (Faraday dark space) বলা

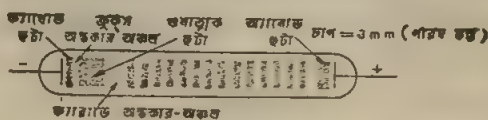
হয়। এই অন্ধকার অঞ্চল উজ্জ্বল

মোক্ষণস্তম্ভকে দুই ভাগে ভাগ

করে। লম্বা গোলাপী অংশকে বলা হয় ধনাত্মক স্তম্ভ (positive column) এবং ক্যাথোডের সংলগ্ন অপেক্ষাকৃত অল্প দীর্ঘ নীলাভ অংশকে বলা হয় ঋণাত্মক ছটা (negative glow)।

চাপ আরও কমিতে থাকিলে ফ্যারাডে অন্ধকার অঞ্চলের পরিসর বাড়িতে থাকে এবং ঋণাত্মক ছটা ক্যাথোড হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া ক্যাথোড ও উহার মাঝামাঝি আর একটি অন্ধকার অঞ্চল গঠন করে। ইহাকে ক্রুক্স অন্ধকার অঞ্চল (Crookes dark space) বলা হয়। ক্যাথোডের পার্শ্বে অবস্থিত বলিয়া ইহাকে ক্যাথোড অন্ধকার অঞ্চল (Cathode dark space)-ও বলা হয়। জার্মানিতে এই অঞ্চলকে হিটার্ফ অন্ধকার অঞ্চল (Hittarf dark space) বলা হয়। এই সময় ক্যাথোডের নিকট যে-নীলাভ আলোক-ছটা

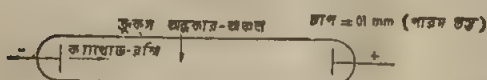
দেখা যায় তাহাকে ক্যাথোড ছটা (Cathode glow) বলা হয়। প্রায় 3 mm পারদ-স্তম্ভের চাপে ধনাত্মক স্তম্ভটি



চিত্র 1.2 (d)

একাধিক আলোকিত ও অন্ধকার পট্টের আকারে ভাঙিয়া যায়। ইহাকে বিলেখ ছটা (Striations) বলা হয়। 3 mm পারদস্তম্ভের চাপে মোক্ষণস্তম্ভটি দেখিতে কীরূপ হইবে তাহা 1.2 (d) নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

চাপ আরও কমাইতে থাকিলে ক্রুক্স অন্ধকার অঞ্চলটির দৈর্ঘ্য ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। ফলে বিলেখ ছটার পট্টের সংখ্যা আস্তে আস্তে কমিতে থাকিবে



চিত্র 1.2 (e)

এবং শেষে একেবারে অদৃশ্য হইয়া যাইবে। 0.5 mm

পারদস্তম্ভের চাপে ক্রুক্স

অন্ধকার অঞ্চলের দৈর্ঘ্য হয়

প্রায় 2 mm, 0.1 mm পারদস্তম্ভের চাপে ইহার দৈর্ঘ্য হয় প্রায় 1 cm এবং

0.01 mm চাপে ইহা সমস্ত নলকে অন্ধকারাচ্ছন্ন করিয়া দেয় [ চিত্র 1.2 (e) ]। এই সময় ঋণাত্মক ছটা এবং ধনাত্মক ছটা সকলই অদৃশ্য হইয়া যায়। অর্থাৎ, এই সময় নলের গ্যাস হইতে কোন আলো নির্গত হয় না।

এই অবস্থায় একটি নূতন ঘটনার উদ্ভব হয়। দেখা যায় যে, নলের গাঠ হইতে, বিশেষ করিয়া ক্যাথোডের বিপরীত দিক হইতে, আলোর ছটা নির্গত হইতেছে। ইহাকে প্রতিপ্রভা (fluorescence) বলা হয়। এই প্রতিপ্রভা আলোর বর্ণ নলের দেওয়ালের উপাদানের ( অর্থাৎ, কাচের ) প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। সোডা গ্লাসের ক্ষেত্রে এই প্রতিপ্রভা সবুজ এবং পাইরেক্স বা লেড গ্লাসের ক্ষেত্রে এই প্রতিপ্রভা নীল।

এই প্রতিপ্রভার কারণ অনুসন্ধান করিতে গিয়া দেখা গেল যে, এই সময় ক্যাথোড হইতে ঋণাত্মক তড়িৎ-প্রবাহ অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা নির্গত হইতে থাকে। এই কণাগুলিই নলের দেওয়ালের ধাক্কা খাইয়া প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে। পূর্বে ধারণা ছিল যে, ক্যাথোড হইতে একপ্রকার তরঙ্গ বা রশ্মি নির্গত হইয়া এই প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে। ক্যাথোড হইতে নির্গত হয় বলিয়া গোল্ডস্টাইন ইহার নামকরণ করিয়াছেন 'ক্যাথোড-রশ্মি'।

#### 1.4 ক্যাথোড-রশ্মির প্রণয়

(i) ক্যাথোড রশ্মি অদৃশ্য, কিন্তু উপযুক্ত প্রতিপ্রভ পদার্থের উপর পড়িলে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে। সামান্য ম্যাঙ্গানিজ-মিশ্রিত জিঙ্ক সালফাইড, বেরিয়াম প্ল্যাটিনোসায়ানাইড, সাধারণ কাচ ইত্যাদি পদার্থের উপর ক্যাথোড-রশ্মি পড়িলে প্রতিপ্রভা দেখা যায়।

(ii) অ্যানোড যে-কোন অবস্থানেই থাকুক, ক্যাথোড রশ্মি সর্বদা ক্যাথোডের গাঠ হইতে লম্বভাবে নির্গত হয়। ক্যাথোড-পৃষ্ঠটি সমবিভব তল বলিয়া তড়িৎ-ক্ষেত্রের অভিমুখ বা তড়িৎ বলরেখার অভিমুখ উহার সহিত লম্বভাবে অবস্থিত ( 'স্থির তড়িৎ' অধ্যায়ের দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য )। ক্যাথোড-রশ্মি তড়িৎ-ক্ষেত্রের অভিমুখী, সুতরাং ক্যাথোড-পৃষ্ঠের সহিত উহা লম্বভাবে নির্গত হয়।

(iii) তড়িৎ-ক্ষেত্রের বা চৌম্বক ক্ষেত্রের অধীন না হইলে ক্যাথোড-রশ্মি সরল-রেখায় চলে। নিম্নের পরীক্ষার সাহায্যে ক্যাথোড-রশ্মির এই ধর্ম প্রত্যক্ষ করা যায়। এই পরীক্ষায় যে-মোক্ষণ-নল ব্যবহার করা হয় উহার এক প্রান্ত অপেক্ষা অপর প্রান্ত বেশি চওড়া ( চিত্র 1.3 )। ইহার সবু প্রান্তে থাকে একটি উত্তলাকার ক্যাথোড। ইহা হইতে অপসারী ক্যাথোড-রশ্মি নির্গত হয়। এই নলের অ্যানোডটি একটি তারকার ন্যায়। সাধারণত ইহা অ্যালুমিনিয়ামের তৈয়ারী। এই নলে ক্যাথোড-

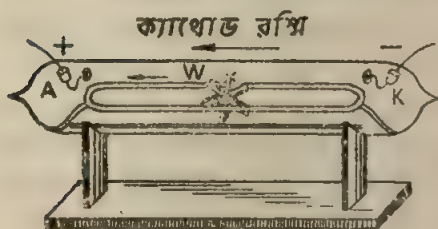


চিত্র 1.3



রশ্মি উৎপন্ন করিলে দেখা যাইবে যে, তারকার্কাতি অ্যানোডের পিছনে কাচের দেওয়ালে যে-প্রতিপ্রভা-জনিত আলোক-ছটা সৃষ্টি হইয়াছে উহাতে তারকার্কাতি অ্যানোডের ছায়া পড়িয়াছে (চিত্র 1.3)। ইহাতে প্রমাণিত হয় যে, ক্যাথোড-রশ্মি সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলে।

(iv) ক্যাথোড-রশ্মির আঘাতে চলনক্ষম বস্তুতে গতি সঞ্চারিত হয়। একটি



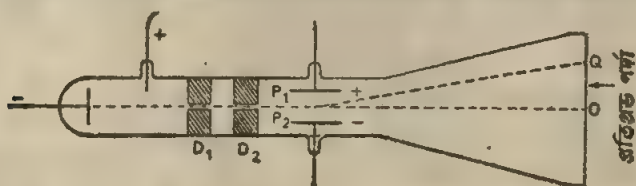
চিত্র 1.4

মোক্ষণ-নলের মধ্যে দুইটি সমান্তরাল দণ্ড রহিয়াছে। W একটি অশ্রের তৈয়ারী পাতলা ঢাকা (চিত্র 1.4)। চাকাটিকে উক্ত দণ্ড দুইটির উপর স্থাপন করা হয়। চাকার রেডে ক্যাথোড-রশ্মি আপতিত হইলে দেখা যায় যে, চাকাটি ক্যাথোড হইতে অ্যানোডের দিকে চলিতেছে।

ইহাতে বোঝা যায়, ক্যাথোড-রশ্মির ভরবেগ আছে।

(v) তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়ায় ক্যাথোড-রশ্মি উহার গতিপথ হইতে বিচ্যুত হয়।

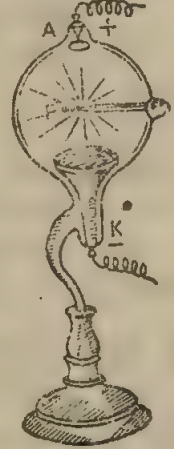
তড়িৎ-ক্ষেত্রের দ্বারা ক্যাথোড-রশ্মি প্রভাবিত হয় তাহা দেখাইবার জন্য 1.5 নং চিত্রের ন্যায় পরীক্ষা-ব্যবস্থার সাহায্য লওয়া হয়।  $P_1$  এবং  $P_2$  দুইটি ধাতব প্লেট। ইহারা যথাক্রমে একটি তড়িৎ-উৎপাদকের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িদ্বারের সহিত যুক্ত। এই ব্যবস্থায় ক্যাথোড-রশ্মি ক্যাথোডের সম্মুখে রক্ষিত দুইটি ধাতব পাতের হিষ্টের মধ্য দিয়া সোজা পথে বাহির হইয়া আসে। ইহার পর ঐ রশ্মি  $P_1$



চিত্র 1.5

এবং  $P_2$  প্লেটের মধ্য দিয়া গিয়া প্রতিপ্রভ পর্দায় পড়ে। দেখা যাইবে যে,  $P_1$  এবং  $P_2$ -এর মধ্যে কোন বিভব-বৈষম্য না থাকিলে ক্যাথোড-রশ্মি সরলরেখা বরাবর আসিয়া প্রতিপ্রভ পর্দার O-বিন্দুতে আঘাত করিবে এবং ঐ বিন্দুতে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করিবে। কিন্তু  $P_1$  এবং  $P_2$  পাতের বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে ক্যাথোড-রশ্মি ধনাত্মক প্লেট  $P_1$ -এর দিকে বাঁকিয়া যাইবে; ফলে প্রতিপ্রভ পর্দার Q-বিন্দুতে আসিয়া প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করিবে। ক্যাথোড-রশ্মি ধনাত্মক প্লেটের দিকে বাঁকিয়া যায় বলিয়া সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, ক্যাথোড-রশ্মি ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত।

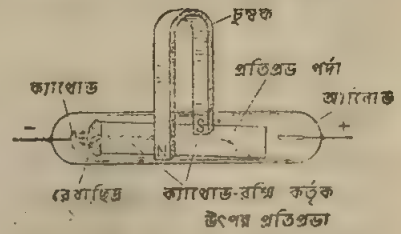
(vi) ক্যাথোড-রশ্মি প্রচণ্ড শক্তি বহন করে। 1.6 নং চিত্রের অনুরূপ পরীক্ষা-ব্যবস্থার সাহায্যে ইহা দেখান যায়। এই ব্যবস্থায় যে-মোক্ষণ-নল লওয়া হয় উহার ক্যাথোডটি অবতল। ইহার বক্রতা-কেন্দ্রে একটি প্লাটিনামের পাত রাখা হয়। অবতল ক্যাথোড হইতে নির্গত ক্যাথোড-রশ্মি এই প্লাটিনাম পাতের উপর কেন্দ্রীভূত হয়। দেখা যাইবে যে তারটির উপর ক্যাথোড-রশ্মি আপতিত হইবার ফলে উহা উত্তপ্ত হইয়া আলো বিকিরণ করিতেছে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, ক্যাথোড-রশ্মি-প্রচুর শক্তি বহন করে।



চিত্র 1.6

(vii) কেবল তড়িৎ-ক্ষেত্র দ্বারাই নয়, চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারাও ক্যাথোড-রশ্মি প্রভাবিত হয়। ক্যাথোড-রশ্মির উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব দেখাইবার জন্য 1.7 নং চিত্রের অনুরূপ পরীক্ষার ব্যবস্থা করা হয়। ক্যাথোড হইতে নির্গত ক্যাথোড-রশ্মি একটি সরু রেখাছত্রের মধ্য দিয়া আসিয়া অ্যানোডের দিকে অগ্রসর হয়। প্রতিপ্রভ পদার্থের আশ্রয় যুক্ত একটি পাতলা পাতকে ক্যাথোড-রশ্মির গতিপথের সহিত সামান্য হেলানভাবে রাখিলে (চিত্র 1.7) প্রতিপ্রভ সৃষ্টির ফলে ক্যাথোড-রশ্মির গতিপথ দৃশ্যমান হইবে।

একটি অশুদ্ধাকৃতি চুম্বকের দুই মেরুকে মোক্ষণ-নলের দুই পার্শ্বে ধরা হইল। দেখা যাইবে যে, ক্যাথোড-রশ্মিটির গতিপথ বাঁকিয়া গিয়াছে।



চিত্র 1.7

(viii) ক্যাথোড-রশ্মি পাতলা পাতের মধ্য দিয়া যাইতে পারে। ক্যাথোড রশ্মি খুব পাতলা অ্যালুমিনিয়াম, সোনা বা রূপার পাতের উপর

আপতিত হইলে উহার কিছু অংশ ঐ পাত ভেদ করিয়া অগর পার্শ্বে চলিয়া যায়। মোটা ধাতব পাতের মধ্য দিয়া ক্যাথোড-রশ্মি যাইতে পারে না।

(ix) ক্যাথোড-রশ্মি ঋণাত্মক আধান বহন করে, ইহা সরাসরি পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা যায়।

ক্যাথোডের বিপরীত দিকের দেওয়ালে একটি ক্ষুদ্র ছিদ্র রাখিয়া একটি পাতলা অ্যালুমিনিয়ামের পাত দিয়া উহাকে ঢাকিয়া দেওয়া হয়। ক্যাথোড-রশ্মি এই পাতলা পাতের মধ্য দিয়া বাহির হইয়া আসে। এই ক্যাথোড-রশ্মিকে কোন স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রে আপতিত হইতে দিলে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রটি তড়িৎদাহিত হইবে এবং

স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিক্ষেপ ঘটিবে। পরীক্ষা করিয়া ইহা সহজেই প্রমাণ করা যাইবে যে, স্বর্ণপত্রদ্বয় ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইয়াছে।

(x) ক্যাথোড-রশ্মির প্রভাবে গ্যাস আয়নিত হয়।

(xi) আলোক-রশ্মির ন্যায় ক্যাথোড-রশ্মিও ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া ঘটায়।

(xii) ক্যাথোড রশ্মি উপযুক্ত কঠিন পদার্থের উপর তীব্র বেগে আসিয়া আপতিত হইলে ঐ পদার্থ হইতে প্রবল ভেদন-ক্ষমতাসম্পন্ন তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ উৎপন্ন হয়। এই বিকিরণকে বলা হয় এক্স-রশ্মি (X-rays)।

(xiii) ক্যাথোড-রশ্মি ঋণাত্মক তড়িদাহিত কণা দ্বারা গঠিত। এই কণাগুলিকে ইলেকট্রন (electron) আখ্যা দেওয়া হইয়াছে।

### ● ইলেকট্রন একটি মৌল কণা (Electron is a fundamental particle)

স্যার জে. জে. টমসন-কর্তৃক ইলেকট্রন আবিষ্কার পদার্থবিজ্ঞানের ইতিহাসে একটি গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা। এই আবিষ্কারের আগে বিজ্ঞানীদের ধারণা ছিল যে, পদার্থের পরমাণু অবিভাজ্য। ইলেকট্রন আবিষ্কৃত হইবার ফলে ইহা প্রমাণিত হইল যে, পরমাণু অবিভাজ্য নয়—ইহাতে ক্ষুদ্রতর কণা বর্তমান থাকে। ইলেকট্রন এইরূপ একটি কণা। স্বাভাবিকভাবেই প্রশ্ন উঠিল, 'ইলেকট্রন কি সকল পরমাণুতেই বিদ্যমান থাকে? সকল পরমাণু হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রনই কি পরস্পর সদৃশ?' এই সকল প্রশ্নের সমাধানের উদ্দেশ্যে বিজ্ঞানী জে. জে. টমসন কয়েকটি পরীক্ষা করেন।

ইলেকট্রনের আধান ( $e$ ) এবং ইহার ভর ( $m$ )-এর অনুপাতকে ইহার আপেক্ষিক আধান (specific charge) বলা হয়। ইলেকট্রনের প্রকৃতি নির্ধারণের জন্য বিজ্ঞানী জে. জে. টমসন ইহার আপেক্ষিক আধান নির্ণয় করেন। তিনি তাঁহার পরীক্ষায় ইলেকট্রনের আপেক্ষিক আধানের মান পাইয়াছিলেন  $1.76 \times 10^7 \text{ e.m.u./gm}$ । বিভিন্ন পরীক্ষায় প্রমাণিত হয় যে, মোক্ষণ নলের ক্যাথোড পাত বা অ্যানোড-পাতের প্রকৃতি, কিংবা মোক্ষণ নলের গ্যাসের প্রকৃতি যাহাই হোক না কেন, উৎপন্ন ইলেকট্রন কণার তড়িদাধান এবং আপেক্ষিক আধানের মান অভিন্নই থাকে।

কোন ধাতব ফিলামেন্টকে উত্তপ্ত করিলে উহা হইতে যে-ঋণাত্মক তড়িদাহিত কণা নিঃসৃত হয় তাহাও ইলেকট্রন কণা। এই প্রক্রিয়াকে তাপীয় আয়ন-নিঃসরণ (thermionic emission) বলা হয়। পরবর্তী পরিচ্ছেদে এ সম্পর্কে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে। আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ায় (photoelectric effect) আলোর প্রভাবে কোন ধাতব পৃষ্ঠ হইতে যে ঋণাত্মক তড়িদাহিত কণা নিঃসৃত হয় তাহাও ইলেকট্রন বলিয়া প্রমাণিত হইয়াছে (তৃতীয় পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। তেজস্ক্রিয় পদার্থের বিঘটনে যে-বিটা কণার উদ্ভব হয় তাহাও ইলেকট্রন। এই সকল পরীক্ষা-

লব্ধ ফল হইতে বিজ্ঞানীরা নিঃসন্দেহ হইয়াছেন যে, বিশ্বের সকল পদার্থের মূল উপাদানের একটি হইল ইলেকট্রন। তাই ইলেকট্রনকে মৌল কণা বলা হয়।

### 1.5 ইলেকট্রনের আধান, ভর এবং শক্তি : ইলেকট্রন-ভোল্ট

উল্লেখ করা হইয়াছে যে, জে. জে. টমসন ইলেকট্রনের আপেক্ষিক আধান ( $e/m$ ) নির্ণয় করিয়াছেন। বিজ্ঞানী মিলিকান 1909 হইতে 1916 খ্রীষ্টাব্দ পর্যন্ত বেশ কিছু পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে ইলেকট্রনের আধান ( $e$ ) মাপিতে সক্ষম হইয়াছিলেন। ইহার ফলেই পৃথকভাবে ইলেকট্রনের আধান ( $e$ ) এবং ভর ( $m$ ) জানা সম্ভবপর হইল।

মিলিকানের পরীক্ষা হইতে জানা গিয়াছে যে,

ইলেকট্রনের আধান :  $e = 1.601 \times 10^{-20} \text{ e.m.u.} = 4.803 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.}$

ইলেকট্রনের আপেক্ষিক আধান :  $(e/m) = 1.76 \times 10^7 \text{ e.m.u./gm.}$

কাজেই, ইলেকট্রনের ভর,  $m = \frac{e}{e/m}$

$$= \frac{1.601 \times 10^{-20} \text{ e.m.u.}}{1.76 \times 10^7 \text{ e.m.u./gm}} \\ = 9.1 \times 10^{-28} \text{ gm}$$

সর্বাপেক্ষা হালকা মৌল হাইড্রোজেনের একটি পরমাণুর ভর,

$$M = 1.67 \times 10^{-24} \text{ gm}$$

সুতরাং,  $\frac{\text{ইলেকট্রনের ভর}}{\text{হাইড্রোজেন-পরমাণুর ভর}} = \frac{9.1 \times 10^{-28}}{1.67 \times 10^{-24}} = \frac{1}{1835} \text{ (প্রায়)}$

অর্থাৎ, ইলেকট্রনের ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের প্রায় 1835 ভাগের 1 ভাগ।

ইলেকট্রন এবং অন্যান্য মৌল কণার শক্তির পরিমাপের জন্য ইলেকট্রন-ভোল্ট (electron-volt) নামে একটি একক ব্যবহৃত হয়।

এক ভোল্ট বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া গেলে একটি ইলেকট্রন যে-গতিশক্তি লাভ করে তাহাকেই 1 ইলেকট্রন-ভোল্ট শক্তি বলা হয়। ইলেকট্রন-ভোল্ট একককে সংক্ষেপে 'ev' প্রতীক-চিহ্নের দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

### ● আর্গ' এবং ইলেকট্রন-ভোল্টের সম্পর্ক :

শক্তির সি. জি. এস. একক আর্গের সহিত ইলেকট্রন-ভোল্টের সম্পর্ক সহজেই প্রতিষ্ঠা করা যায়।



সংজ্ঞানুসারে, 1 ইলেকট্রন-ভোল্ট = ইলেকট্রনের আধান  $\times$  1 ভোল্ট

$$= 4.803 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.} \times \frac{1}{300} \text{ e.s.u.} \left[ \text{যেহেতু } 1 \text{ ভোল্ট} = \frac{1}{300} \text{ e.s.u.} \right]$$

$$= 1.601 \times 10^{-12} \text{ আর্গ}$$

$$\therefore \boxed{1 \text{ ইলেকট্রন-ভোল্ট} = 1.601 \times 10^{-12} \text{ আর্গ}}$$

ইলেকট্রন-ভোল্ট এককটি খুবই ছোট বলিয়া অধিক শক্তিসম্পন্ন কোন কণার শক্তিকে প্রকাশ করিবার জন্য কিলো-ইলেকট্রন-ভোল্ট এবং মেগা-ইলেকট্রন-ভোল্ট—এই দুইটি বড় এককের ব্যবহার প্রচলিত আছে।

$$1 \text{ কিলো-ইলেকট্রন-ভোল্ট (Kev)} = 10^3 \text{ ev}$$

$$1 \text{ মেগা-ইলেকট্রন-ভোল্ট (Mev)} = 10^6 \text{ ev}$$

### 1.6 বিভব-বৈষম্যের প্রভাবে আধানবাহী কণার সঞ্চারিত বেগ

$e$  আধানসম্পন্ন কোন তড়িৎদ্রবিত কণা  $V$  ভোল্ট বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া গেলে ইহা যে গতিশক্তি লাভ করে তাহা তড়িৎদ্রাব্যের উপর কৃত কার্যের সমান হইবে। অর্থাৎ,

$$\frac{1}{2} mv^2 = e \cdot V$$

এখানে  $m$  হইল আলোভ্য আধানবাহী কণার ভর এবং  $v$  হইল উহাতে সঞ্চারিত বেগ।

সুতরাং,  $V$  বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া গেলে  $m$  গুরুবিশিষ্ট এবং  $e$  আধানবিশিষ্ট কোন কণা যে-বেগ লাভ করে তাহার মান

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad (1.1)$$

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণনী •

উদাহরণ 1.1 একটি মোক্ষন-নলের দুই তড়িৎদ্বারে 2 kV বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করা হইল। ইলেকট্রনের আধান  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  এবং ইহার ভর  $9.04 \times 10^{-31} \text{ kg}$  হইলে ক্যাথোড নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলিতে সঞ্চারিত বেগ নির্ণয় কর।

সমাধান :  $V$  বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া  $e$  আধানবাহী কণা পাঠান হইলে কৃত কার্য  $= eV$

এই কার্য আধানবাহী কণার গতিশক্তিতে পরিণত হয়। যদি ধরিয়া লওয়া যায় যে, ক্যাথোড হইতে নিঃসৃত হইবার সময় ইহার বেগ শূন্য এবং ধনাত্মক তড়িৎদ্বারে ইহার বেগ  $v$  তাহা হইলে লেখা যায় যে,

$$\frac{1}{2} mv^2 = e.V$$

$$\text{বা, } v = \sqrt{\frac{2e.V}{m}} \quad \dots (i)$$

এখানে  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $V = 2 \text{ kV} = 2 \times 10^3 \text{ V}$

এবং  $m = 9.04 \times 10^{-31} \text{ kg}$

(i) নং সমীকরণে  $e$ ,  $V$  এবং  $m$ -এর এই মান বসাইয়া পাই,

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^3}{9.04 \times 10^{-31}}} \text{ m/sec}$$

$$= 2.66 \times 10^7 \text{ m/sec}$$

**উদাহরণ 1.2** স্থির অবস্থা হইতে যাত্রা শুরু করিয়া এবং 60 kV বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া গিয়া ইলেকট্রনসমূহ  $1.46 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$  বেগ লাভ করিল। ‘কুলম্ব/গ্রাম’ এককে ইলেকট্রনের আধান এবং ভরের অনুপাত নির্ণয় কর। [ জয়েন্ট এন্ট্রাস, 1981 ]

**সমাধান :**  $e$  আধানবিশিষ্ট কোন কণা  $V$  বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া গেলে ইহার উপর কৃত কার্য  $= e.V$

ইহা কণার গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয় বলিয়া লেখা যায়,

$$\frac{1}{2} mv^2 = e.V \quad \dots (i)$$

এখানে  $m$  হইল কণার ভর এবং  $v$  হইল ইহার বেগ।

$$\therefore \frac{e}{m} = \frac{v^2}{2V} \text{ [ (i) হইতে ]}$$

এখানে  $v = 1.46 \times 10^{10} \text{ cm/sec} = 1.46 \times 10^8 \text{ m/sec}$ ,  $V = 60 \text{ kV} = 60 \times 10^3 \text{ V}$

$$\therefore \frac{e}{m} = \frac{(1.46 \times 10^8)^2}{2 \times 60 \times 10^3} = 1.776 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

$$= 1.776 \times 10^8 \text{ C/gm}$$

## 1.7 এক্স-রশ্মি (X-rays)

1895 খ্রীস্টাব্দের ৬ই নভেম্বর জার্মান বৈজ্ঞানিক ভিলহেল্ম কন্‌রাড রন্টগেন (Wilhelm Konrad Rontgen) আকস্মিকভাবে এক্স-রশ্মি আবিষ্কার করেন। রন্টগেন অম্প চাপের গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ করিয়া কাচ ও অন্য কঠকগুলি পদার্থের প্রতিপ্রভা-সংক্রান্ত পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিতেছিলেন। নভেম্বরের ঐ দিন রন্টগেন তাঁহার মোক্ষণ-নলের নিকট বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইডের প্রলেপযুক্ত

একটি প্লেট রাখিয়াছিলেন। তিনি লক্ষ্য করেন, যতবারই নলের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ করা হইতেছে ততবারই উহার নিকটস্থ বেরিয়াম প্রাটিনোসায়ানাইড প্লেটটি উজ্জ্বল হইয়া উঠিতেছে। তিনি মোক্ষণ-নলটিকে মোটা কালো কাগজে দিয়া মুড়িয়া দিলেন যাহাতে কোন দৃশ্যমান আলো বা অতিবেগুনি রশ্মি নল হইতে বাহিরে আসিতে না পারে। রণ্টগেন বিস্ময়ের সঙ্গে লক্ষ্য করেন যে, কালো কাগজে নলটি আবৃত থাকা সত্ত্বেও মোক্ষণ-নল দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইবার সঙ্গে সঙ্গেই বেরিয়াম প্রাটিনোসায়ানাইড প্লেট হইতে প্রতিপ্রভ আলোর ছটা বাহির হইতেছে। বিজ্ঞানী রণ্টগেন বুঝিলেন যে, মোক্ষণ-নলে এখন এক ধরনের 'রশ্মি' উৎপন্ন হইতেছে যাহা মোটা কালো কাগজের আবরণ ভেদ করিয়া স্বচ্ছন্দে বাহির হইয়া আসিয়া বেরিয়াম প্রাটিনোসায়ানাইড প্লেটে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করিতেছে।

রণ্টগেন তাঁহার এই আবিষ্কার সঙ্গে সঙ্গেই প্রচার করিলেন না। আবিষ্কারের উত্তেজনা দমন করিয়া তিনি বুদ্ধিবাস একনিষ্ঠতায় মাসাধিককাল নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিতে লাগিলেন। তিনি দেখিলেন যে, সাধারণ আলোর ক্ষেত্রে যে-সকল পদার্থ অস্বচ্ছ, নব-আবিষ্কৃত এই রশ্মি সেই সকল পদার্থের মধ্য দিয়া স্বচ্ছন্দে চলিয়া যাইতে পারে। কিন্তু খাতব পদার্থের দ্বারা এই রশ্মি সহজেই শোষিত হয়। তিনি ইহাও দেখিলেন যে, সীসা এই রশ্মির একটি উত্তম শোষক। রণ্টগেন আরও লক্ষ্য করেন যে, এই রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর বিক্রিয়া করে। আলো-নিবুদ্ধ (light-tight) বাক্সের মধ্যে একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট রাখিয়া এই রশ্মির সাহায্যে তিনি তাঁহার হাতের হাড়ের ফটোগ্রাফ তুলিতে সক্ষম হইয়াছিলেন। রণ্টগেন এই রশ্মির স্বরূপ বুঝিতে না পারিয়া ইহার নামকরণ করিয়াছিলেন 'এক্স-রশ্মি'। আবিষ্কারের নামানুসারে ইহাকে 'রণ্টগেন রশ্মি'-ও বলা হয়।

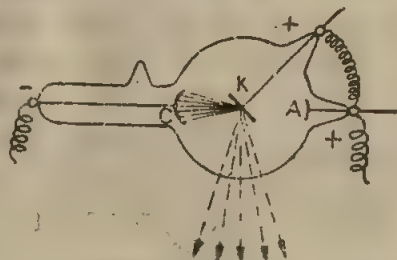
এক্স-রশ্মি আবিষ্কার প্রচারিত হইবার সঙ্গে সঙ্গে বিশ্বের বিভিন্ন গবেষণাগারে এই রশ্মি লইয়া নানা গবেষণা শুরু হয়। চিকিৎসক ও শল্যচিকিৎসকগণও প্রায় সঙ্গে সঙ্গেই অনুধাবন করিলেন যে, এই আবিষ্কার তাঁহাদের নিকট অসাধারণ গুরুত্বপূর্ণ। এক্স-রশ্মি আবিষ্কারের মাত্র কয়েক সপ্তাহ পর ভিয়েনার এক হাসপাতালে এক জটিল অপারেশনে চিকিৎসকগণ এক্স-রশ্মি ব্যবহার করিয়াছিলেন। এক্স-রশ্মি আবিষ্কারের জন্য অধ্যাপক রণ্টগেন 1901 খ্রীস্টাব্দে নোবেল পুরস্কার লাভ করেন। ইহাই পদার্থবিজ্ঞানে প্রথম নোবেল পুরস্কার।

### 1.8 এক্স-রশ্মির উৎপাদন (Production of X-rays)

ক্যাথোড-রশ্মি বা দূতগামী ইলেকট্রন কণা কোন উপযুক্ত কঠিন লক্ষ্যবস্তুর (hard target) উপর পড়িলে এক্স-রশ্মি উৎপন্ন হয়। ইলেকট্রন কণাগুলির গতিশক্তির এক অংশ এক্স-রশ্মিতে রূপান্তরিত হয়। এক্স-রে নল (X-ray tube) নামক এক ধরনের নলের সাহায্যে এক্স-রশ্মি উৎপাদন করা হয়। প্রধানত দুই প্রকার

এক্স-রশ্মি নল আছে—(a) গ্যাস নল (gas tube), (b) কুলিজ্ নল বা ইলেকট্রন নল (Coolidge tube or electron tube)।

(a) গ্যাস নল : ইহা তিনটি পার্শ্বনলযুক্ত একটি বিশেষ ধরনের মোক্ষণ-নল। পার্শ্বনল তিনটির সহিত তিনটি তড়িদ্বার যুক্ত থাকে—যথা (i) ক্যাথোড, C, (ii) অ্যান্টি-ক্যাথোড, K এবং (iii) অ্যানোড, A। ক্যাথোডটি আকারে অবতল। ইহার বক্রতা-কেন্দ্রটি অ্যান্টি-ক্যাথোডের উপর অবস্থিত, যাহাতে ক্যাথোড হইতে নির্গত ক্যাথোড-রশ্মি অ্যান্টি-ক্যাথোডে একটি বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হয় (চিত্র 1.8)। ইলেকট্রন কণাগুলির আঘাতে অ্যান্টি-ক্যাথোডে প্রচুর পরিমাণে তাপ উৎপন্ন হয়, ফলে ইহার উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। এইজন্য অ্যান্টি-ক্যাথোডটিকে উচ্চ গলনাঙ্কবিশিষ্ট টাংস্টেন, প্রাটিনাম বা মলিবডেনাম ইত্যাদি পদার্থ দ্বারা তৈয়ারী করা হয়।



এক্স-রশ্মি

চিত্র 1.8

তৃতীয় তড়িদ্বার (অ্যানোড) A অ্যান্টি-ক্যাথোড K-এর সহিত যুক্ত।

কার্যনিতির দিক দিয়া অ্যানোডটির কোন প্রয়োজনীয়তা নাই। আধুনিক এক্স-রশ্মি নলে এই অপ্রয়োজনীয় তৃতীয় তড়িদ্বারটি রাখা হয় না। প্রাচীন এক্স-রশ্মি নলে এই তৃতীয় তড়িদ্বারটি ব্যবহৃত হইত কেন তাহা স্পষ্ট নয়।

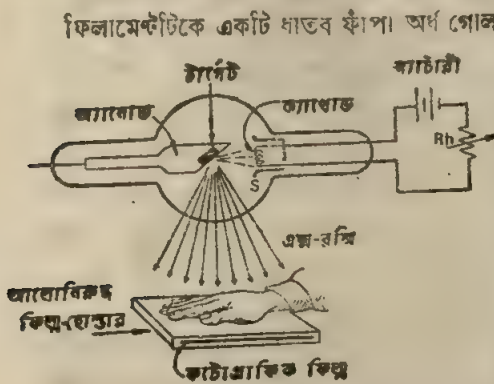
কোন আবেশ-কুণ্ডলীর ধনাত্মক তড়িদ্বারকে অ্যানোড ও অ্যান্টি-ক্যাথোডের সহিত এবং ঋণাত্মক তড়িদ্বারকে ক্যাথোডের সহিত যুক্ত করিলে নলের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ হয়, ফলে উহা হইতে ক্যাথোড-রশ্মি উৎপন্ন হয়। অবতল ক্যাথোড হইতে নির্গত ক্যাথোড-রশ্মি দ্রুত আসিয়া অ্যান্টি-ক্যাথোডে আঘাত করিলে অ্যান্টি-ক্যাথোড হইতে এক্স-রশ্মি নির্গত হয়। অ্যান্টি-ক্যাথোডের উষ্ণতা যাহাতে খুব বাড়িতে না পারে সেইজন্য জলপ্রবাহ পাঠাইয়া ইহাকে ঠাণ্ডা করিবার ব্যবস্থা করা হয়।

উক্ত এক্স-রশ্মি নলের প্রধান অসুবিধা এই যে, ইহা একভাবে বেশিক্ষণ কাজ করিতে পারে না, কেননা কিছুক্ষণ একটানা কাজ করিলে ইহার অভ্যন্তরস্থ চাপ কমিয়া যায়। ইহার কারণ এই যে, দ্রুত গতিম্পন্ন আয়নিত গ্যাসের অণুগুলির সহিত নলের দেওয়ালের সংঘাতের সময় অণুগুলি দেওয়াল-কর্ক্ক শোষিত হয়। এই সময় ক্যাথোড ও অ্যান্টি-ক্যাথোডে প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য অপরিবর্তিত রাখিলে উৎপন্ন এক্স-রশ্মির তীব্রতা কমিয়া যায়। তীব্রতার মান স্থির রাখিতে হইলে বিভব-বৈষম্যের মান বাড়াইতে হয়, ইহাতে এক্স-রশ্মির প্রকৃতি বদলাইয়া যায়। এই নলের ক্ষেত্রে উৎপন্ন এক্স-রশ্মির তীব্রতা ও প্রকৃতি—উভয়ই ক্যাথোড ও অ্যান্টি-ক্যাথোডের বিভব-



বৈষম্যের উপর নির্ভরশীল। ফলে ইহাতে উৎপন্ন এক্স-রশ্মির তীব্রতা ও প্রকৃতি পৃথকভাবে নিয়ন্ত্রণ করা যায় না।

(b) কুলিজ্ নল (Coolidge tube): 1913 খ্রীস্টাব্দে আমেরিকান পদার্থবিদ কুলিজ্ এক্স-রশ্মি নলের উদ্বেগ্ধযোগ্য উন্নতিসাধন করেন। তাঁহার উদ্ভাবিত যন্ত্রটি কুলিজ্ নল নামে পরিচিত। এই যন্ত্রের ক্যাথোডটি প্রকৃতপক্ষে টাংস্টেনের তৈয়ারী একটি তন্তু বা ফিলামেন্ট। একটি ব্যাটারীর সাহায্যে ইহার মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে উহা উত্তপ্ত হয় এবং ইহা হইতে ইলেকট্রন নিঃসৃত হইতে থাকে। এই প্রক্রিয়াকে তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ (thermionic emission) বলা হয়। এই প্রক্রিয়া সম্বন্ধে পরবর্তী পরিচ্ছেদে বিস্তারিত আলোচনা করা হইবে।



চিত্র 1.9

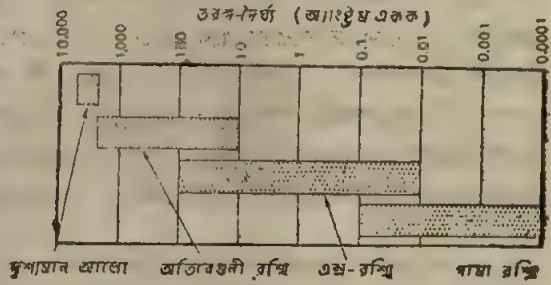
দিকে থাকে। টাংস্টেন, মলিবডেনাম ইত্যাদি পদার্থের তৈয়ারী একটি পাত যুক্ত থাকে। ইহাকে টার্গেট (target) বলা হয়। আবেশ-কুণ্ডলী বা রেক্টিফায়ার (rectifier) হইতে ফিলামেন্ট ও অ্যানোডের মধ্যে একটি উচ্চমানের একমুখী বিভব-বৈষম্য (high direct voltage) প্রয়োগ করা হয়। ফিলামেন্ট হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলি ধনাত্মক টার্গেটের প্রতি তীব্রভাবে আকৃষ্ট হইবে এবং নলের মধ্য দিয়া টার্গেটের দিকে যাইবার সময় প্রচণ্ড গতিশক্তি লাভ করিবে। এই ইলেকট্রন-স্রোত যখন টার্গেটে আঁসিয়া আঘাত করে তখন ইহার গতিশক্তির শতকরা ৭৪ ভাগই তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। বাকি অংশ হয় এক্স-রশ্মিতে। ইহাতে যে-বিপুল পরিমাণ তাপ সৃষ্টি হয় তাহা অপসারণের জন্য অ্যানোডের ফাঁপা নলের মধ্য দিয়া জলপ্রবাহ পাঠান হয়। ইহা ছাড়া অ্যানোডের পশ্চাতে কতকগুলি শীতক পাখনা (cooling fans) যুক্ত থাকে।

কুলিজ্ নলের সুবিধা এই যে, এ ক্ষেত্রে পরস্পর নিরপেক্ষভাবে এক্স-রশ্মির তীব্রতা ও প্রকৃতির পরিবর্তন করা যায়। ফিলামেন্ট বর্তনীর পরিবর্তনীয় রোধ Rh-এর সাহায্যে ফিলামেন্ট প্রবাহের পরিবর্তন করা যায়। ইহাতে ফিলামেন্টের উষ্ণতা

পরিবর্তিত হয়, ফলে উহা হইতে নির্গত ইলেকট্রনের পরিমাণও বদলায়। ইহার ফলে এক্স-রশ্মির তীব্রতার পরিবর্তন করা যায়। ফিলামেন্ট ও আনোডের বিভব-বৈষম্যের মান বদলাইলে উৎপন্ন এক্স-রশ্মির প্রকৃতি বদলায়। উচ্চমানের বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে কঠিন এক্স-রশ্মি (hard X-rays) এবং নিম্নমানের বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে কোমল এক্স-রশ্মি (soft X-rays) উৎপন্ন হয়।

### 1.9 এক্স-রশ্মির প্রসারিত বৈশিষ্ট্য (Properties of X-rays)

(i) সাধারণ আলোর ন্যায় এক্স-রশ্মিও প্রায় সরলরেখায় গমন করে, ইহার গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান। প্রকৃত পক্ষে আলোর ন্যায় এক্স-রশ্মিও একপ্রকার তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ। এক্স-রশ্মির সহিত সাধারণ আলোর পার্থক্য এই যে, ইহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য সাধারণ আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য



চিত্র 1.10

অপেক্ষা কম। দৃশ্যমান আলোর (visible light) তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের পাল্লা (range) 4000 হইতে 7000 আংস্ট্রম পর্যন্ত, আর এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের পাল্লা 100 হইতে 0.01 আংস্ট্রম (চিত্র 1.10)।

(ii) মানুষের চোখের পর্দায় ইহা সাধারণ আলোর ন্যায় ক্রিয়া না করিলেও ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর ইহার আচরণ আলোর ন্যায়। অর্থাৎ, এক্স-রশ্মিও ফটোগ্রাফিক প্লেটের আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়া (photo-chemical reaction) ঘটায়।

(iii) বেরিয়াম প্র্যাটিনোসায়ানাইড, জিঙ্ক সালফাইড, ক্যালিসিয়াম টাংস্টেট ইত্যাদি পদার্থে আপতিত হইলে এক্স-রশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।

(iv) এক্স-রশ্মির ভেদন-ক্ষমতা (penetrating power) অত্যন্ত প্রবল। সাধারণ আলোর ক্ষেত্রে যে-মাপ্যম অস্বচ্ছ, এক্স-রশ্মি তাহার মধ্য দিয়াও স্বচ্ছন্দে ঢালিয়া যাইতে পারে। যে-এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য যত কম তাহার ভেদন-ক্ষমতা তত বেশি। ভেদন-ক্ষমতার ভারতম্যের ভিত্তিতে এক্স-রশ্মিকে দুইভাগে ভাগ করা হয়। যথা—তীক্ষ্ণ এক্স-রশ্মি (hard X-rays) এবং (ii) কোমল এক্স-রশ্মি (soft X-rays)। ঘন পদার্থে এক্স-রশ্মির ভেদন-ক্ষমতা কম। ধাতুর মধ্য দিয়া যাইবার সময় এক্স-রশ্মি সহজেই শোষিত হয়। সীসা এক্স-রশ্মির একটি উত্তম শোষক।

(v) ক্যাথোড-রশ্মির ন্যায় এক্স-রশ্মি তড়িৎ-ক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, ক্যাথোড-রশ্মির ন্যায় ইহা তড়িৎদাহিত কণার দ্বারা গঠিত নয়।

(vi) কোন গ্যাসের মধ্য দিয়া এক্স-রশ্মি পাঠাইলে ঐ গ্যাসের অণুগুলি আয়নিত হয়।

(vii) সাধারণ আলোর ন্যায় এক্স-রশ্মির ব্যতিচার (interference), অপবর্তন (diffraction) ইত্যাদি ধর্ম আছে। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, এক্স-রশ্মি এক প্রকার তরঙ্গ। এক্স-রশ্মির সমবর্তন (polarisation) ঘটে বলিয়া বুঝা যায়, আলোর ন্যায় ইহাও এক প্রকার তির্যক তরঙ্গ।

(viii) জীব-কোষের উপর এক্স-রশ্মি পড়িলে জীবকোষ ক্ষতিগ্রস্ত হয়। মানবদেহ ও অন্যান্য জীবদেহের পক্ষে অতিরিক্ত এক্স-রশ্মি-সম্পাত (exposure to X-rays) বিপজ্জনক। এক্স-রশ্মি সম্পাতের কয়েক ঘণ্টা বা কয়েকদিন পরও দেহে ক্ষতের সৃষ্টি হইতে পারে, এই ক্ষত সারিতে যথেষ্ট সময় নেয়। এইজন্য, যাহারা এক্স-রশ্মি লইয়া কাজ করেন তাহাদিগকে ইহার বিপজ্জনক ক্রিয়া হইতে নিরাপদ রাখিবার জন্য এক্স-রশ্মি উৎপাদক যন্ত্রকে যথেষ্ট পুরু সীসার পাত দ্বারা আবৃত রাখা হয়।

### 1.10 এক্স-রশ্মি এবং ক্যাথোড-রশ্মির পার্থক্য

ক্যাথোড-রশ্মির ধর্মাবলীর সহিত এক্স-রশ্মির ধর্মাবলীর কিছু সাদৃশ্য থাকিলেও এই দুইটি রশ্মির প্রকৃতি ভিন্ন। ইহাদের মধ্যে কয়েকটি মৌলিক পার্থক্য আছে। এই পার্থক্যগুলি বিশেষভাবে লক্ষ্য করা প্রয়োজন।

এক্স-রশ্মি	ক্যাথোড-রশ্মি
(i) আলোর মত এক্স-রশ্মি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। দৃশ্য আলোর সহিত ইহার পার্থক্য কেবল তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের।	(i) ক্যাথোড-রশ্মি হইল প্রবাহমান ইলেকট্রন কণার সমষ্টি। অর্থাৎ, ইহা ঋণাত্মক তড়িৎধর্মী ইলেকট্রন দ্বারা গঠিত।
(ii) আলো যেমন চৌম্বক-ক্ষেত্র বা তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না, এক্স-রশ্মিও তেমনি চৌম্বক ক্ষেত্র বা তড়িৎ-ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না।	(ii) ক্যাথোড-রশ্মি গতিশীল তড়িৎ-দাহিত কণার দ্বারা গঠিত বলিয়া ইহা ক্যাথোড-রশ্মির গতির অভিমুখের সহিত লম্বভাবে অবস্থিত চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে বিক্ষিপ্ত হয়। তড়িৎ ক্ষেত্রেও ইহার বিক্ষেপ ঘটে।
(iii) তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ বলিয়া এক্স-রশ্মি আলোর বেগে সঞ্চারিত হয়। এক্স-রশ্মি যে-কোন ঘনত্বেই উৎপন্ন হউক না কেন, ইহার বেগ সর্বদাই আলোর বেগের সমান হয়।	(iii) এক্স-রশ্মির বেগের মত ক্যাথোড-রশ্মির বেগ ধ্রুবক নয়। ক্যাথোড-রশ্মি যে-বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া যার ক্যাথোড-রশ্মির বেগ ঐ বিভব-বৈষম্যের উপর নির্ভর করে। বিভব-বৈষম্য বাড়িলে ক্যাথোড-রশ্মির গতিবেগ বাড়ে, বিভব-বৈষম্য কমিলে গতিবেগ কমে।

### 1.11 এক্স-রশ্মির ব্যবহারিক প্রয়োগ

এক্স-রশ্মি আধুনিক বিজ্ঞানের এক অসাধারণ আবিষ্কার। মানব-কল্যাণে ইহার দান অপারিসীম। নানা ব্যবহারিক প্রয়োজনে আমরা এক্স-রশ্মি ব্যবহার করি। নিম্নে ইহার কয়েকটি প্রধান ব্যবহারের উল্লেখ করা হইল :

(i) বৈজ্ঞানিক গবেষণায় এক্স-রশ্মি : বিভিন্ন পদার্থের স্ফটিক বা কেলাস (crystal)-এর মধ্যে পরমাণুগুলির বিন্যাস কীরূপ তাহা নির্ধারণের ক্ষেত্রে এক্স-রশ্মি অত্যন্ত সাফল্যের সহিত ব্যবহৃত হইতেছে। কেলাসের মধ্য দিয়া এক্স-রশ্মি পাঠাইলে উহা অপবর্তিত (diffracted) হয়। ফটোগ্রাফিক প্লেটের সাহায্যে এই অপবর্তিত এক্স-রশ্মির ছবি তুলিলে যে-অপবর্তন নকশা (diffraction pattern) পাওয়া যায় তাহা হইতে কেলাসের আভ্যন্তরীণ গঠন সম্বন্ধে নানা প্রয়োজনীয় তথ্য পাওয়া যায়। পদার্থের গঠন-সংক্রান্ত বৈজ্ঞানিক গবেষণায় এক্স-রশ্মি এত ব্যাপকভাবে ব্যবহার হইতেছে যে, এক্স-রে ক্রিস্টালোগ্রাফি (X-ray crystallography) নামে বিজ্ঞানের এক নূতন শাখার উদ্ভব হইয়াছে।

(ii) চিকিৎসাবিজ্ঞানে এক্স-রশ্মি : চিকিৎসাবিজ্ঞানেই সর্বপ্রথম এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হইয়াছিল। এক্স-রশ্মি আবিষ্কারের মাত্র কয়েক সপ্তাহের মধ্যেই চিকিৎসার প্রয়োজনে এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হইয়াছিল।

বৈজ্ঞানিক আবিষ্কারের এত দ্রুত ব্যবহারিক প্রয়োগ বিজ্ঞানের ইতিহাসে বিরল। রোগীর দেহের আভ্যন্তরীণ কোন অংশ পরীক্ষা করিবার অন্যতম অবলম্বন এক্স-রশ্মি। এই রশ্মি মানবদেহের চামড়া ও মাংস ভেদ করিয়া যাইতে পারে, কিন্তু হাড় ভেদ করিয়া যাইতে পারে না। এইজন্য এক্স-রশ্মির সাহায্যে ফটোগ্রাফিক প্লেটে হাত, পা বা দেহের অন্য কোন অংশের হাড়ের ছবি পাওয়া যায়। 1.11 নং চিত্রে মানুষের হাতের একটি এক্স-রে ফটোগ্রাফ দেখান হইয়াছে। কোন স্থানের হাড় ভাঙ্গিয়া



চিত্র 1.11

গেলে এক্স-রে ছবি তুলিয়া ভগ্ন স্থানটি সহজেই সনাক্ত করা যায়। দেহের অভ্যন্তরে কোন অবাস্তব বাহ্যিক বস্তু (foreign body) প্রবেশ করিলে এক্স-রশ্মির সাহায্যে তাহা সহজেই বুঝা যায়। আলসার, টিউমার, যক্ষ্মা ইত্যাদি রোগ-নির্ণয়ের ক্ষেত্রে এক্স-রশ্মি অত্যন্ত মূল্যবান ভূমিকা লইয়াছে।

ক্যানসার রোগের চিকিৎসায়ও এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হয়। এই রোগে দেহের কোন স্থানের কোষগুলি বিভাজিত হইয়া অতি দ্রুত বাড়িতে আরম্ভ করে। এক্স-রশ্মি



প্রয়োগ করিলে সুস্থ কোষগুলি অপেক্ষা ক্যানসার-গ্রস্ত কোষগুলি অধিকতর ক্ষতিগ্রস্ত হয়। ফলে উপযুক্ত মাত্রায় এক্স-রশ্মি প্রয়োগ করিলে ক্যানসার-গ্রস্ত কোষগুলি বিনষ্ট হইবে, কিন্তু সুস্থ দেহকোষগুলির কোনরূপ ক্ষতি হইবে না।

(iii) **শিল্পক্ষেত্রে এক্স-রশ্মি :** বিভিন্ন ধাতব বস্তুর অভ্যন্তরীণ দোষ-ত্রুটির প্রকৃতি নির্ধারণের জন্য এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হয়। ঢালাই-করা ধাতু সামগ্রীর (যেমন, লোহার কড়ি, বরগা ইত্যাদি) ভিতরে কোন ফাটল বা দুর্বল অংশ থাকিলে এক্স-রশ্মির সাহায্যে পরীক্ষা করিয়া তাহা ধরা যায়। পাথরের কোন বস্তু (যেমন, কোন পাথরের মূর্তি) ফাঁপা কি নিরেট এক্স-রশ্মির সাহায্যে তাহা স্থির করা যায়। আবদ্ধ পেটিকার মধ্যে কী জাতীয় পদার্থ আছে তাহা নির্ধারণ করিবার জন্যও এক্স-রশ্মি ব্যবহার করা হয়।

(iv) **পুলিশ ও শুল্ক বিভাগের প্রয়োজনে এক্স-রশ্মি :** এক্স-রশ্মির সাহায্যে কাঠের বাস্ত, কাপড় বা চামড়ার খলিতে লুক্কায়িত অবস্থায় রক্ষিত মূল্যবান বস্তুর সন্ধান পাওয়া যায়। পুলিশ ও শুল্ক বিভাগের কর্মীরা সোনা-গহনা, হীরা ইত্যাদি সামগ্রীর চোরচালান নিবারণের জন্য এক্স-রশ্মি ব্যবহার করেন। ফরেনসিক বিভাগ নানা অপরাধ-রহস্যের অনুসন্ধানে এক্স-রশ্মি ব্যবহার করিয়া নানা মূল্যবান তথ্য সংগ্রহ করেন।

### সার-সংক্ষেপ

সাধারণ চাপ এবং উচ্চতায় শুল্ক গ্যাস বিদ্যুতের কুপরিবাহী। কিন্তু গ্যাসের মধ্য দিয়া এক্স-রশ্মি, তেজস্ক্রিয় রশ্মি, অতিবেগুনী রশ্মি ইত্যাদি পাঠাইলে এবং নিম্নচাপের গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ করিলে আয়ন উৎপন্ন হয় বলিয়া গ্যাস তড়িৎ-পরিবহন ক্ষমতা লাভ করে। নিম্ন চাপের গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ ঘটাইলে গ্যাসের চাপের উপর নির্ভর করিয়া বিভিন্ন ঘটনা পরিলাক্ষিত হয়। গ্যাসের চাপ  $0.01 \text{ mmHg}$  বা তদপেক্ষা কম হইলে এবং মোক্ষণ-নলের দুই তড়িদ্ব দ্বারে উপযুক্ত বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে ক্যাথোড হইতে ঋণাত্মক আধানবাহী ক্যাথোড-রশ্মি নির্গত হয়। ক্যাথোড-রশ্মি প্রকৃতপক্ষে প্রবহমান ইলেকট্রনগুচ্ছ।

ক্যাথোড রশ্মির ধর্মাবলী : (i) ক্যাথোড-রশ্মি প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে। (ii) তড়িৎ ক্ষেত্র এবং উপযুক্ত চৌম্বক-ক্ষেত্র দ্বারা ক্যাথোড-রশ্মি বিক্ষিপ্ত হয়। (iii) ক্যাথোড-রশ্মির ভরবেগ আছে। (iv) ক্যাথোড-রশ্মি পাতলা পাত ভেদ করিয়া যাইতে পারে। (v) ইহা গ্যাসকে আয়নিত করে। (vi) ক্যাথোড-রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া ঘটায়।

ইলেকট্রন একটি মৌল কণা। সকল পদার্থের পরমাণুতেই ইলেকট্রন থাকে। ইলেকট্রন ঋণাত্মক আধানবাহী কণা।

ইলেকট্রনের আধান,  $e = 4.803 \times 10^{-10}$  e.s.u.

ইলেকট্রনের ভর,  $m = 9.1 \times 10^{-28}$  gm

একটি ইলেকট্রন এক ভোল্ট বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া গেলে যে-পরিমাণ গতিশক্তি লাভ করে সেই পরিমাণ শক্তিকে 1 ইলেকট্রন-ভোল্ট শক্তি বলা হয়।

$$1 \text{ ev} = 1.60 \times 10^{-18} \text{ erg}$$

$e$  আধানবাহী কণা  $V$  বিভব বৈষম্যের মধ্য দিয়া গেলে যে-বেগ লাভ করে তাহার মান

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

দুতগামী ইলেকট্রনগুচ্ছ ও ক্যাথোড-রশ্মি উৎপন্ন কঠিন পদার্থে আঘাত করিলে এক্স-রশ্মি উৎপন্ন হয়।

এক্স-রশ্মির ধর্মাবলী : আলোর ন্যায় এক্স-রশ্মি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ ; তবে আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষা এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অনেক কম। (ii) এক্স-রশ্মি প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে। (iii) এক্স-রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে। (iv) এক্স-রশ্মির তেজস-ক্ষমতা অত্যন্ত প্রবল। (v) এক্স-রশ্মি চৌম্বক-ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না। (vi) এক্স-রশ্মি-সম্পাত মানবদেহের পক্ষে ক্ষতিকর।

এক্স-রশ্মির নানান ব্যবহার আছে। (i) স্ফটিকের মধ্যে পরমাণুর বিন্যাস কীরূপ তাহা নির্ধারণের জন্য এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হয়। দেহের অভ্যন্তরীণ কোন অংশের হাড় ভাঙিয়া গেলে এক্স-রশ্মির সাহায্যে ভগ্ন স্থানটি সহজেই চিহ্নিত করা যায়। (iii) ধাতব বস্তু, মূর্তি ইত্যাদি ফাঁপা কি নিরেট তাহা নির্ধারণের জন্য এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হয়। (iv) পুলিশ ও শুল্ক বিভাগের কর্মীরা লুকান হীরা, সোনা-গহনা ইত্যাদি সন্ধান করিবার জন্য এক্স-রশ্মি ব্যবহার করেন।

### প্রশ্নাবলী 1

#### ছদ্মস্তর প্রশ্নাবলী

1. দৃশ্যমান আলোক-রশ্মি অপেক্ষা এক্স-রশ্মির শক্তি বেশি—উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।  
[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]
2. অতি দুতগামী একটি ইলেকট্রন-গুচ্ছ একটি ভারী ধাতব পদার্থের তৈয়ারী লক্ষ্যবস্তুতে আঘাত করিলে কী ঘটে ব্যাখ্যা কর।
3. উচ্চ প্রাবল্যসম্পন্ন কোন চৌম্বক ক্ষেত্র এক্স-রশ্মিকে কীভাবে প্রভাবিত করিবে? শ্রুতিসহ উত্তর দাও।

4. একটি কাঠের ব্লকের মধ্যে একখণ্ড সীসা আছে। এই কাঠের ব্লকের এক পৃষ্ঠে এক্স-রশ্মি ফেলিলে ব্লকটির পেছনে রাখা প্রতিপ্রভ পর্দায় (fluorescent screen) ব্লকের যে-ছায়া পড়ে উহাতে কাঠের ছায়া আবছা হয়, কিন্তু সীসার ছায়া ঘনকালো হয়। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর। [ কোম্পিউট লোকাল এক্সামিনেশনস্ লিমিটেড ]

5. এক্স-রশ্মির সহিত আলোক-রশ্মির সাদৃশ্য এবং বৈসাদৃশ্য কী?

6. ইলেকট্রনকে 'মৌল কণা' বলা হয় কেন?

7. ইলেকট্রন ঋণাত্মক তড়িৎ-ধর্মী—ইহা কীভাবে প্রমাণ করিতে পার?

8. একটি ক্যাথোড-রশ্মি এবং একটি এক্স-রশ্মিকে পর পর একটি চৌম্বক ক্ষেত্র এবং একটি তড়িৎ-ক্ষেত্রের মধ্য দিয়া পাঠান হইল। এক্ষেত্রে ক্যাথোড-রশ্মি এবং এক্স-রশ্মির আচরণে কী পার্থক্য হইবে? এই পার্থক্যের কারণ কী?

9. এক্স-রশ্মিকে 'অদৃশ্য আলো' বলা হয় কেন? এক্স-রশ্মির দুইটি ধর্মের উল্লেখ কর যে-গুলি দৃশ্য আলোর ধর্মের অনুরূপ। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1984 ]

10. এক্স-রশ্মি উৎপাদনে গ্যাস নলের তুলনায় কুলিজ নলের প্রধান সুবিধাগুলি কী কী?

[ জরনেট এন্ট্রাস, 1983 ]

11. কোন্ অবস্থায় বায়ু পরিবাহী হিসাবে কাজ করে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1981 ]

12. এক্স-রশ্মির ভেদন-ক্ষমতা কীভাবে বৃদ্ধি করা যায়?

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

13. আয়ন কাহাকে বলে? গ্যাসকে আয়নিত করিবার বিভিন্ন পদ্ধতি উল্লেখ কর।

14. নিম্নচাপে গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ করিলে বিভিন্ন চাপে মোক্ষণশক্তির কী কী পরিবর্তন হয় তাহার বিস্তারিত বর্ণনা দাও।

15. (a) ক্যাথোড-রশ্মি কী? (b) ক্যাথোড-রশ্মির ধর্মগুলি ব্যাখ্যাসহ বিবৃত কর। (c) এক্স-রশ্মির উৎপাদন বর্ণনা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1982 ]

16. ক্যাথোড-রশ্মির ধর্মগুলি বিবৃত কর। ক্যাথোড-রশ্মি উৎপাদন করা যায় কীভাবে? ক্যাথোড-রশ্মি সরলরেখা অবলম্বন করিয়া চলে তাহা কীভাবে দেখান যায়?

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]

17. (a) তড়িৎ-মোক্ষণ নলের ঘটনাবলী বর্ণনা কর। (b) ক্যাথোড-রশ্মি কী? (c) ক্যাথোড-রশ্মির ধর্মগুলি বর্ণনা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1978 ]

18. ক্যাথোড-রশ্মির প্রধান ধর্মগুলি বিবৃত কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1979 ]

19. ক্যাথোড-রশ্মির ঋণাত্মক তড়িদাহিত কণিকা দ্বারা গঠিত তাহা কীভাবে প্রমাণ করা যায়? ক্যাথোড-রশ্মির ভরবেগ আছে পরীক্ষার সাহায্যে তাহা কীভাবে দেখান যায়?

20. এক্স-রশ্মি কে আবিষ্কার করেন? কীভাবে ইহা আবিষ্কৃত হইয়াছিল? চিত্রের সাহায্যে সংক্ষেপে একটি এক্স-রশ্মি নলের গঠন বর্ণনা কর। এক্স-রশ্মির ধর্মগুলি বিবৃত কর এবং ক্যাথোড-রশ্মির ধর্মের সহিত ইহার ধর্মের তুলনা কর।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]

21. একটি এক্স-রশ্মি নলের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও এবং এক্স-রশ্মির প্রধান ধর্মগুলি বিবৃত কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1978 ]

22. এক্স-রশ্মির ধর্মগুলি উল্লেখ কর। ক্যাথোড-রশ্মির সহিত এক্স-রশ্মির ধর্মের পার্থক্যগুলি উল্লেখ কর।

23. এক্স-রশ্মির ধর্মগুলি বিবৃত কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1975 ]

24. এক্স-রশ্মি কী? ইহা কীভাবে আবিষ্কৃত হয়? এক্স-রশ্মির চারটি গুরুত্বপূর্ণ ধর্মের উল্লেখ কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1980 ]

25. ক্যাথোড-রশ্মি কী? পরীক্ষাগারে এক্স-রশ্মি উৎপন্ন করা যায় কীভাবে? এক্স-রশ্মির ধর্মগুলি কী? ক্যাথোড-রশ্মির সহিত ইহার ধর্ম তুলনা কর। এক্স-রশ্মির কয়েকটি ব্যবহারের উল্লেখ কর। [ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980 ]

26. টীকা লিখ:

(i) ফ্যারাডে অঙ্ককার অণ্ডল; (ii) কুক্‌স্ অঙ্ককার অণ্ডল; (iii) এক্স-রশ্মি; (iv) ক্যাথোড-রশ্মি।

### পাণিতিক প্রশ্নাবলী

27. 15 kV বিভব-বৈষম্যের অধীন ইলেকট্রনে যে-বেগ সঞ্চারিত হয় তাহার মান নির্ণয় কর। দেওয়া আছে যে,  $e = 4.8 \times 10^{-10}$  e.s.u. এবং  $m = 9.1 \times 10^{-28}$  gm  
[  $7.26 \times 10^9$  cm/sec ]

28. একটি ইলেকট্রন  $10^9$  cm/sec বেগে চলিতেছে। ইলেকট্রন-ভোল্ট এককে ইহার শক্তি নির্ণয় কর। ইলেকট্রনের ভর  $= 9.1 \times 10^{-28}$  gm, ইহার আধান  $= 4.8 \times 10^{-10}$  e.s.u.  
এবং  $300 \text{ V} = 1 \text{ e.s.u.}$  [  $284.4 \text{ ev}$  ]

29. কোন উত্তপ্ত ফিলামেন্ট হইতে একটি ইলেকট্রন মুক্ত হইল এবং ফিলামেন্টের সাপেক্ষে 150 V ধনাত্মক আধানবিশিষ্ট আনোড-কর্তৃক আকৃষ্ট হইল। যখন ইলেকট্রনটি আনোডকে আঘাত করে তখন ইহার বেগ কত? ইলেকট্রনের আধান  $= 1.6 \times 10^{-19}$  C এবং ইলেকট্রনের ভর  $= 9.1 \times 10^{-31}$  kg। [  $2.3 \times 10^7$  m/sec ]

30. স্থির অবস্থা হইতে যাত্রা শুরু করিয়া 60 কিলোভোল্ট বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া যাইবার পর একটি ইলেকট্রনের বেগ হইল  $1.46 \times 10^{10}$  cm/sec। 'কুলম্ব/গ্রাম' এককে ইলেকট্রনের আধান এবং ভরের অনুপাত নির্ণয় কর।

[ জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1981 ] [  $1.78 \times 10^{18}$  C/gm ]





## ইলেকট্রনিকস্

*Great discoveries and improvements invariably involve the co-operation of many minds. I may be given credit for having blazed the trail, but when I look at the subsequent developments, I feel the credit is due to others rather than to myself.* —Alexander Graham Bell

### 2.1 তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ (Thermionic emission)

1885 খ্রীস্টাব্দে আমেরিকান বিজ্ঞানী টমাস এ. এডিসন (Thomas A. Edison) একটি উন্নততর বৈদ্যুতিক বাতি নির্মাণ-সংক্রান্ত পরীক্ষামূলক গবেষণাকালে আকস্মিকভাবে একটি অতি মূল্যবান তথ্য আবিষ্কার করেন। তিনি একটি বৈদ্যুতিক ফিলামেন্ট বাতির মধ্যে একটি ধাতব প্লেট রাখিয়াছিলেন। প্লেটটিকে ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক বিভবে রাখিবার ব্যবস্থা ছিল। বর্হিবর্তনীতে একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটার রাখিয়া তিনি লক্ষ্য করেন যে, প্লেটটি ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভবে থাকিলে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ ঘটে, কিন্তু যখন প্লেটটি ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভবে থাকে তখন গ্যালভানোমিটারে কোনরূপ বিক্ষেপ ঘটে না। এই ক্রিয়াকে এডিসন প্রক্রিয়া (Edison effect) বলা হয়। উত্তপ্ত ফিলামেন্ট হইতে ঋণাত্মক তড়িৎআধান নিঃসৃত হয়, ইহা ধরিয়া লইলে সহজেই এডিসন প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা করা যায়। ফিলামেন্টের সাপেক্ষে প্লেট যখন ধনাত্মক বিভবে থাকে তখন নিঃসৃত ঋণাত্মক তড়িৎআধান প্লেটের দিকে আকৃষ্ট হইয়া প্লেটে আসে, ফলে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ চলে। কিন্তু প্লেট ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভবে থাকিলে ফিলামেন্ট হইতে নিঃসৃত ঋণাত্মক আধান প্লেট-কর্তৃক বিকর্ষিত হয়, ফলে গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে কোন তড়িৎপ্রবাহ থাকে না।

এডিসন প্রক্রিয়া আবিষ্কারের পর বেশ কয়েক বছর এ সম্বন্ধে বিশেষ কোন গবেষণা হয় নাই। 1902 খ্রীস্টাব্দে অধ্যাপক রিচার্ডসনের তাত্ত্বিক ও পরীক্ষামূলক গবেষণা হইতে এই প্রক্রিয়ার প্রকৃত স্বরূপ বুঝা গেল। রিচার্ডসনের গবেষণা হইতে শুধু যে উত্তপ্ত বস্তু হইতে নিঃসৃত আধানের প্রকৃতি সম্বন্ধেই জানা গেল তাহা নয়, তাপীয় আধান নিঃসরণজনিত প্রবাহ (thermionic current) ফিলামেন্টের বা

ক্যাথোডের উষ্ণতা, প্রকৃতি ইত্যাদির উপর কীরূপে নির্ভর করে রিচার্ডসনের তত্ত্ব হইতে তাহাও জানা গেল। বিজ্ঞানী রিচার্ডসন এই প্রক্রিয়ার নাম দেন 'তাপায়ন নিঃসরণ' (thermionic emission)। উত্তপ্ত ফিলামেন্ট হইতে প্রকৃতপক্ষে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় বলিয়া এই প্রক্রিয়াকে আমরা তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ বলিব।

ধাতব বা পরিবাহী পদার্থে প্রচুর পরিমাণে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। ইহারা ঐ পদার্থের মধ্যে গ্যাসের অণুর ন্যায় স্বাধীনভাবে সংগরণশীল। এই ইলেকট্রনগুলি কোন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের সহিত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ না থাকিলেও সাধারণভাবে ইহারা ঐ পদার্থের বাহিরে আসিতে পারে না। কোন তরল পদার্থের অণুগুলি যেমন লীন তাপ না পাইলে বাষ্পীভূত হইয়া তরল-পৃষ্ঠ অতিক্রম করিয়া যাইতে পারে না, কঠিন পদার্থের আভ্যন্তরীণ মুক্ত ইলেকট্রন-কণাগুলিও তেমনি একটি ন্যূনতম গতিশক্তির অধিকারী না হইলে পদার্থ হইতে বাহির হইয়া আসিতে পারে না। কোন ধাতব পদার্থের মধ্যবর্তী মুক্ত ইলেকট্রন যদি ধাতব-পৃষ্ঠের বাহিরে চলিয়া আসিতে চায় তাহা হইলে উহা ঐ পৃষ্ঠে একটি বাধার সম্মুখীন হয়। ইহাকে বিভব-প্রাচীর (potential barrier) বলা হয়। ইহার কারণ এই যে, কোন ইলেকট্রন যখন ধাতু-পৃষ্ঠ অতিক্রম করিয়া বাহিরে আসে তখন উহা ধাতুতে একটি ধনাত্মক ভিড়্রাধান আবিষ্ট করে। ধাতু-পৃষ্ঠ অতিক্রম করিতে হইলে ইলেকট্রনকে ঐ আবিষ্ট ধনাত্মক আধানের আকর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। কোন ধাতব পৃষ্ঠের বাধা অতিক্রম করিয়া বাহির হইয়া আসিতে যে-পরিমাণ কার্য করিতে হয় তাহা উক্ত পৃষ্ঠের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। একটি ইলেকট্রনকে ধাতব পৃষ্ঠের বাধা অতিক্রম করিয়া বাহিরে আসিতে যে-ন্যূনতম পরিমাণ কার্য করিতে হয় তাহাকে উক্ত পৃষ্ঠের কার্য-অপেক্ষক (Work function) বলা হয়। সুতরাং কোন ইলেকট্রনকে ধাতব পৃষ্ঠ হইতে বাহির হইয়া আসিতে হইলে উহার গতিশক্তি অন্তত কার্য-অপেক্ষকের সমান হওয়া প্রয়োজন। পদার্থ উত্তপ্ত হইলে উহার অভ্যন্তরস্থ ইলেকট্রনগুলির গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়, ইহাতে কিছু পরিমাণ ইলেকট্রন ধাতু-পৃষ্ঠের কার্য-অপেক্ষক অপেক্ষা বেশি শক্তির অধিকারী হয়, ফলে ধাতব পদার্থের বাঁধন ছিন্ন করিয়া বাহিরে চলিয়া আসে। উষ্ণতা যত বেশি হইবে, পদার্থ হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সংখ্যাও তত বেশি হইবে। বিজ্ঞানী রিচার্ডসন দেখান যে, উত্তপ্ত বস্তু (ক্যাথোড) হইতে নিঃসৃত সকল ইলেকট্রন প্লেটে পৌঁছিলে তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণজনিত প্রবাহ (thermionic current) নিম্নের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়—

$$I = AT^2 e^{-\phi/kT} \quad (2.1)$$

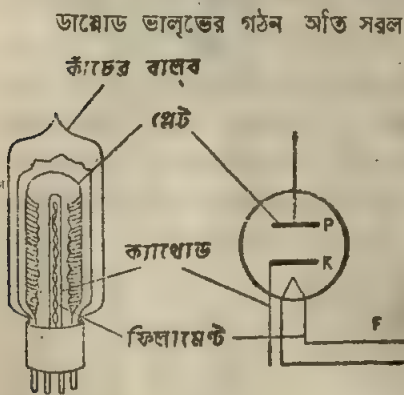
A = একটি ধ্রুবক, T = ক্যাথোডের পরম উষ্ণতা,  $\phi$  = ধাতব পৃষ্ঠের কার্য-অপেক্ষক, k = বোল্টজ্‌মান ধ্রুবক। এই সমীকরণকে রিচার্ডসনের সমীকরণ (Richardson's equation) বলা হয়।

রিচার্ডসনের সমীকরণ হইতে দেখা যাইতেছে যে, কার্য-অপেক্ষকের মান যত

কম হইবে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় পদার্থ হইতে তত বেশি ইলেকট্রন নিঃসৃত হইবে। এইজন্যই, যে-সকল পদার্থের কার্য-অপেক্ষক  $\phi$  এর মান কম, থার্মায়নিক ভাল্ভের ক্যাথোডে সাধারণত সেই সকল পদার্থের প্রলেপ দেওয়া হয়। বেরিয়াম অক্সাইড, স্ট্রনটিয়াম অক্সাইড থোরিয়াম অক্সাইড ইত্যাদি পদার্থের প্রলেপ ব্যবহার করিয়া ইলেকট্রন-নিঃসারক পৃষ্ঠের কার্য-অপেক্ষকের মান কমান হয়।

## 2.2 ডায়োড বা দুই তড়িদ্বারযুক্ত ভাল্ভ (Diode valve)

আমেরিকান বিজ্ঞানী জন ফ্রেমিং সর্বপ্রথম তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ প্রক্রিয়ার ব্যবহারিক গুরুত্ব উপলব্ধি করেন এবং সাকলোর সহিত একটি দুই-তড়িদ্বারবিশিষ্ট ভাল্ভ নির্মাণ করেন। ইহার সাহায্যে পরবর্তী বিভব-বৈষম্যকে একমুখী (unidirectional) বিভব-বৈষম্যে রূপান্তরিত করা যায়। এই প্রক্রিয়াকে বলা হয় 'রেক্টিফিকেশন' বা একমুখীকরণ (rectification)। ডায়োডের সাহায্যে রেক্টিফিকেশন করা যায় বলিয়া ইহাকে রেক্টিফায়ার নল (rectifier tube)-ও বলা হয়। আবিষ্কারের নামানুসারে ইহাকে 'ফ্রেমিং ভাল্ভ' নামেও উল্লেখ করা হয়।



চিত্র 2.1

ক্যাথোডটি ফিলামেন্ট বা হিটারকে চারিদিক হইতে ঘিরিয়া রাখে। ফিলামেন্টের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহাতে যে-তাপ উৎপন্ন হয় তাহার প্রভাবে ক্যাথোডটি উত্তপ্ত হইয়া ইলেকট্রন নিঃসৃত করে।

ডায়োড ভাল্ভের গঠন অতি সরল। ইহার প্রধান অংশ একটি বায়ুশূন্য কাচের বাল্ব। ইহাতে একটি ফিলামেন্ট থাকে। ফিলামেন্ট হাড়া ইহাতে অপর একটি তড়িদ্বার রাখা হয়। ইহাকে বলা হয় প্লেট। এক্ষেত্রে ফিলামেন্টই ঋণাত্মক তড়িদ্বার বা ক্যাথোড-এর ন্যায় কাজ করে। অপর এক প্রকার ডায়োড ভাল্ভের ক্যাথোডকে পরোক্ষভাবে উত্তপ্ত করার ব্যবস্থা থাকে। 2। নং চিত্রে ইহা দেখান হইয়াছে। এক্ষেত্রে

## 2.3 স্পেস-চার্জ এবং উষ্ণতা-সীমিত প্রবাহ

(Space-charge and temperature-limited current)

কোন ডায়োড ভাল্ভের ক্যাথোড উত্তপ্ত হইলে উহা হইতে কী হারে ইলেকট্রন নিঃসৃত হইবে তাহা নির্ভর করে মূলত ক্যাথোডের উষ্ণতার উপর। প্লেটের বিভব এই সংখ্যাকে প্রভাবিত করিতে পারে না। ক্যাথোডের সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভবে

বিদ্যমান প্লেট কেবল ক্যাথোড-নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলিকে নিজের দিকে আকর্ষণ করে। প্লেটে প্রতি সেকেন্ডে কতগুলি ইলেকট্রন পৌঁছায় তাহা নির্ভর করে প্লেটের বিভবের উপর। ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্লেটের বিভব কম হইলে ক্যাথোড হইতে নিঃসৃত সকল ইলেকট্রন প্লেটে পৌঁছিতে পারে না। ইহার ফলে ক্যাথোড অঞ্চলে কিছু ইলেকট্রন জমিয়া যায়। এই ইলেকট্রন সমাবেশকে স্পেস-চার্জ (space charge) বলা হয়। ক্যাথোডের নিকটবর্তী এই ইলেকট্রন-মেঘের বিকর্ষণ ক্যাথোড হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণকে বাধা দেয়। এমন কি, কিছু কিছু ইলেকট্রন বিকর্ষিত হইয়া ক্যাথোডে ফিরিয়া যায়।

ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্লেট-বিভব বাড়াইতে থাকিলে প্রতি সেকেন্ডে আরও বেশি সংখ্যক ইলেকট্রন ক্যাথোড হইতে প্লেটে পৌঁছিতে পারিবে। ইহাতে স্পেস-চার্জ কমিবে এবং প্লেট-প্রবাহ বাড়িবে। এইভাবে প্লেট-বিভবকে ধাপে ধাপে বাড়াইতে থাকিলে এক সময় এইরূপ অবস্থায় উপনীত হওয়া যাইবে যে-অবস্থায় প্রতি সেকেন্ডে ক্যাথোড হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সংখ্যা প্লেট কর্তৃক সংগৃহীত ইলেকট্রনের সংখ্যার সমান হইবে। ইহার পর প্লেট-বিভবের মান আর বৃদ্ধি করিলেও প্লেট-প্রবাহ আর বাড়ে না, কেননা ইহার পর ক্যাথোড আর অতিরিক্ত ইলেকট্রন যোগান দিতে পারে না। অর্থাৎ, ক্যাথোডের উষ্ণতা একটি নির্দিষ্ট মানে স্থির থাকিলে প্লেট-বিভবের একটি নির্দিষ্ট মানে প্লেটপ্রবাহ সর্বোচ্চ হয়। ইহার পর প্লেট-বিভব বাড়াইলেও প্লেট-প্রবাহ স্থির থাকে। এই সম্পূর্ণ প্রবাহ ক্যাথোডের উষ্ণতার দ্বারা নির্দিষ্ট হয় বলিয়া ইহাকে উষ্ণতা-সীমিত প্রবাহ (temperature-limited current) বলা হয়।

## 2.4 ডায়োড-বৈশিষ্ট্য লেখ (Characteristic curves of a diode)

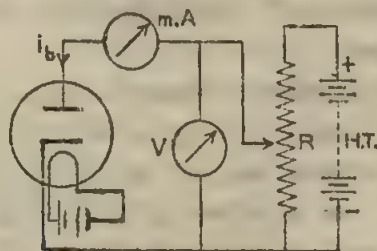
ডায়োডে ভালুভের ক্যাথোডের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া প্লেট-বিভব  $e_b$ -এর পরিবর্তন করিলে প্লেট-প্রবাহ  $i_b$ -এর পরিবর্তন ঘটে। যে লেখচিত্রে  $i_b$  এবং  $e_b$ -এর এই সম্পর্ক প্রকাশ করা হয় তাহাকে ডায়োড-এর বৈশিষ্ট্য লেখ (characteristic curve) বলা হয়। ক্যাথোডের বিভিন্ন উষ্ণতায়  $i_b$  এবং  $e_b$ -এর সম্পর্ক অঙ্কন করিয়া বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য লেখ পাওয়া যায়।

ডায়োডের বৈশিষ্ট্য লেখ অঙ্কন করিবার জন্য পরীক্ষাগারে যে-ব্যবস্থা করা হয় 2.2 নং চিত্রে তাহা দেখান হইয়াছে।

একটি রোধ  $R$ -এর দুই প্রান্তে একটি উচ্চ বিভব-বৈষম্য সম্পন্ন ব্যাটারী ( $H.T.$ ) যুক্ত করা হয় (চিত্র 2.2)। এই ব্যাটারীর ঋণাত্মক মেবুটি ডায়োডের ক্যাথোডের সহিত যুক্ত থাকে। ডায়োডের প্লেটকে রোধ  $R$ -এর বিভিন্ন বিন্দুতে স্পর্শ করাইলে ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্লেট-এর বিভব  $e_b$ -এর মানও বিভিন্ন হয়। বিভব-বৈষম্য পরিবর্তনের এই ব্যবস্থাকে পোটেনসিওমিটার ব্যবস্থা বলা হয়। প্লেটকে  $R$ -এর

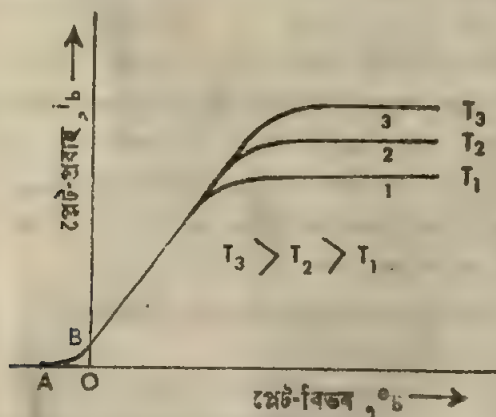


বিভিন্ন বিন্দুর সংস্পর্শে আনিলে ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্রেটের বিভব পরিবর্তিত হয় এবং সেইসঙ্গে প্রেট-প্রবাহ  $i_b$ -এর মানও পরিবর্তিত হয়। প্রেট-বর্তনীতে একটি মিলি-অ্যামিটার ( $mA$ ) স্থাপন করা হয়। ইহার সাহায্যে প্রেট-বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ ( $i_b$ ) পরিমাপ করা যায়। এই সময় প্রেট-বিভব  $e_b$ -এর মান কত তাহা ভোল্ট-মিটার  $V$ -এর পাঠ হইতে জানা যায়।



চিত্র 2.2

উষ্ণতা নির্দিষ্ট রাখিয়া (ফিলামেন্ট প্রবাহ স্থির রাখিয়া)  $e_b$  বদলাইলে  $i_b$  বদলাইবে।  $e_b$ -এর বিভিন্ন মানে  $i_b$ -এর মান মাপিয়া এই দুই রাশির সম্পর্ক লেখচিত্রের আকারে প্রকাশ করিলে উক্ত উষ্ণতায় ডায়োডের বৈশিষ্ট্য লেখ পাওয়া যাইবে। 2.3 নং চিত্রে এইরূপ তিনটি লেখচিত্র দেখান হইয়াছে। 2.3 নং চিত্রের 1, 2 এবং 3 নং লেখচিত্রের ক্ষেত্রে ক্যাথোডের উষ্ণতা যথাক্রমে  $T_1$ ,  $T_2$  এবং  $T_3$  ধরা হইয়াছে।



চিত্র 2.3

দেখা যাইতেছে যে,  $e_b$ -এর বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে প্রথমে  $i_b$ -এর মান বাড়িতে থাকে, কিন্তু একটি নির্দিষ্ট মানের পর  $e_b$  বাড়িলেও সেইসঙ্গে  $i_b$  বাড়ে না। প্রেট-প্রবাহের সর্বোচ্চ মান কত হইবে তাহা নির্ভর করে ক্যাথোডের উষ্ণতার উপর।

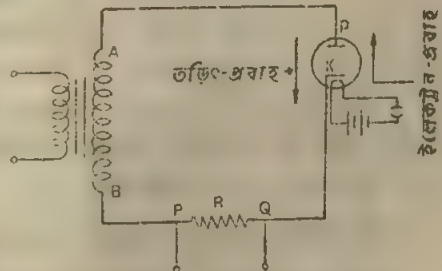
চিত্র হইতে দেখা যাইতেছে যে, উষ্ণতার মান যত বাড়ে প্রেট-প্রবাহের সর্বোচ্চ মান (উষ্ণতা-সীমিত প্রবাহ) তত বেশি হয়।

2.3 নং চিত্রের লেখচিত্রগুলির AB অংশের তাৎপর্য বিশেষভাবে লক্ষণীয়। এই অংশ হইতে দেখা যাইতেছে যে, যখন প্রেট-বিভব  $e_p = 0$  তখনও প্রেট-প্রবাহ  $i_b$ -এর একটি নির্দিষ্ট মান (OB) আছে। ইহার কারণ এই যে, ক্যাথোড-পৃষ্ঠ হইতে নিঃসৃত হইবার সময় ইলেকট্রনগুলির কিছু গতিশক্তি থাকে। কাজেই প্রেটের আকর্ষণ না থাকিলেও প্রারম্ভিক গতিশক্তির দ্বারা কিছু ইলেকট্রন প্রেটে আসিয়া পৌঁছে এবং কিছুটা প্রেট-প্রবাহের সৃষ্টি করে। এমন কি প্রেট-বিভব  $e_p$  সামান্য পরিমাণ ঋণাত্মক হইলেও কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন প্রেটে পৌঁছিতে পারে এবং সামান্য প্রেট-প্রবাহের সৃষ্টি করিতে পারে। প্রেট-প্রবাহকে শূন্য করিতে হইলে প্রেটকে ক্যাথোডের সাপেক্ষে OA পরিমাণ ঋণাত্মক বিভব দিতে হয়।

## 2.5 ডায়োডের দ্বারা একমুখীকরণ (Rectification by diode)

আমরা জানি যে, যখন ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্রেটটি ধনাত্মক বিভবে থাকে তখন ক্যাথোড হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রন প্রেটে আসে, ফলে বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ চলে। কিন্তু যখন প্রেট ক্যাথোডের সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভবে থাকে তখন ক্যাথোড নিঃসৃত ইলেকট্রন প্রেট-কর্তৃক বিকর্ষিত হয়, ফলে এই সময় ডায়োডের মধ্য দিয়া ইলেকট্রন প্রবাহিত হইতে পারে না। সুতরাং, দেখা যাইতেছে যে, ডায়োডের মধ্য দিয়া ইলেকট্রন কেবলমাত্র একাঁদিকে (ক্যাথোড হইতে প্রেটের দিকে) প্রবাহিত হইতে পারে। ইলেকট্রন ঋণাত্মক আধানবাহী বলিয়া প্রেট ও ক্যাথোডের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ সর্বদা প্রেট হইতে ক্যাথোডের দিকে। ইহা হইতে বুঝা যাইতেছে যে, ডায়োড নলটি ইলেকট্রনের নিকট একটি একমুখী পথ বা ভাস্করের ন্যায় ক্রিয়া করে। এইজন্য ডায়োড নলকে রেকটিফায়ার নল (rectifier tube) বলা হয়।

ইতিপূর্বে বলা হইয়াছে যে, ডায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী বিভব-বৈষম্যকে একমুখী বিভব-বৈষম্যে রূপান্তরিত করা যায়। এই উদ্দেশ্যে যে-বর্তনী ব্যবহৃত হয় তাহা 2.4 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে।



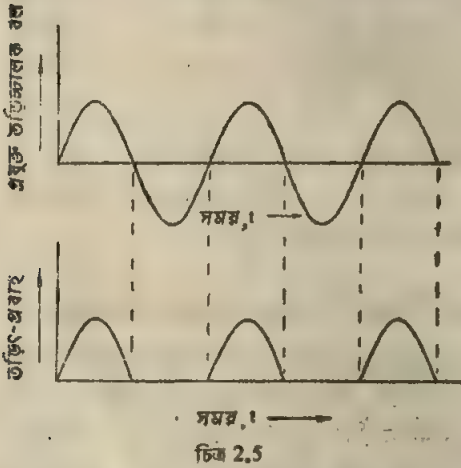
চিত্র 2.4

p এবং K হইল যথাক্রমে ডায়োডের প্রেট এবং ক্যাথোড।

ফিলামেন্ট-বর্তনীতে একটি ব্যাটারী যুক্ত থাকে। এই ব্যাটারীর সাহায্যে ফিলামেন্টের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইয়া ক্যাথোডকে উত্তপ্ত করা হয়। সাধারণত একটি

ট্রান্সফর্মারের গৌণ কুণ্ডলী AB এবং একটি স্থির মানের রোধ (R) ক্যাথোড ও গ্রেটের সহিত শ্রেণীতে যুক্ত থাকে।

ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীতে কোন পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল প্রয়োগ করিলে গৌণ-কুণ্ডলী AB-তে একটি রূপান্তরিত তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হইবে। উৎপন্ন



তড়িচ্চালক বল পরিবর্তী

বলিয়া গৌণ কুণ্ডলীর A

প্রান্তের সাপেক্ষে B প্রান্তের

বিভব-বৈষম্যের মান এবং

অভিমুখ উভয়ই সময়ের সহিত

পরিবর্তিত হইতে থাকিবে।

ইহাতে গ্রেট p-এর বিভব

ক্যাথোডের বিভবের সাপেক্ষে

একইভাবে পরিবর্তিত হইতে

থাকিবে। 2.5 নং চিত্রে গ্রেট

ও ক্যাথোডের মধ্যে প্রযুক্ত

পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের

তরঙ্গরূপ দেখান হইয়াছে। প্রযুক্ত পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের পর্যায়কালের এক অর্ধাংশ সময় জুড়িয়া গ্রেট p ক্যাথোড K-এর সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভবে থাকে। এই সময় বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ চলে। কিন্তু পর্যায়কালের পরবর্তী অর্ধাংশে গ্রেটের বিভব ক্যাথোডের বিভবের সাপেক্ষে ঋণাত্মক থাকে বলিয়া এই সময় বর্তনীর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলে না।

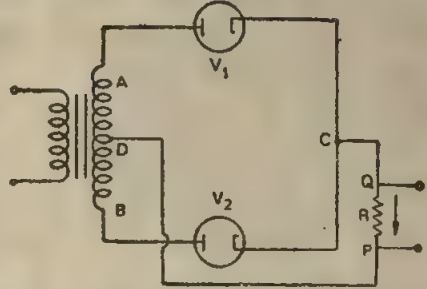
কাজেই, বর্তনীর মধ্য দিয়া একটি বিরতিযুক্ত (intermittent) একমুখী (unidirectional) তড়িৎ-প্রবাহ চলে। বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহের তরঙ্গরূপ কীরূপ হইবে তাহা 2.5 নং চিত্রের নিচের অংশে দেখান হইয়াছে। রোধ R-এর মধ্য দিয়া যে-প্রবাহ চলে তাহা সর্বদা একমুখী (Q হইতে P-এর দিকে) বলিয়া ইহার দুই প্রান্তে উৎপন্ন বিভব-বৈষম্যও একমুখী হইবে। এই অবস্থায় প্রতি পর্যায়কালের এক অর্ধে তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায় বলিয়া এই প্রক্রিয়াকে অর্ধ-তরঙ্গ একমুখীকরণ (Half-wave rectification) বলা হয়।

## 2.6 পূর্ণ-তরঙ্গ একমুখীকরণ (Full-wave rectification)

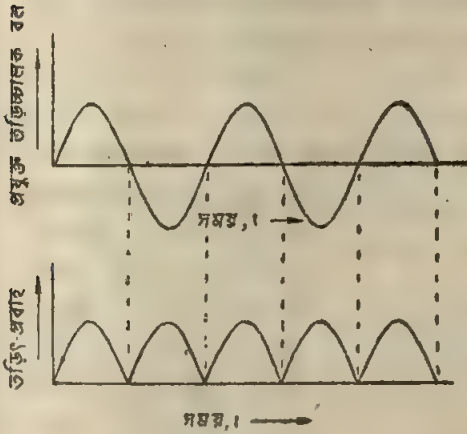
পূর্ব-বর্ণিত পদ্ধতিতে যে-একমুখী প্রবাহ পাওয়া যায় তাহা বিরতিযুক্ত। প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্যের পর্যায়কালের দুই অর্ধেই বর্তনীতে প্রবাহ পাইতে হইলে দুইটি ডায়োড ভালভের সাহায্য লইতে হয়। এই পদ্ধতিতে যে-বর্তনী ব্যবহৃত হয় তাহা 2.6 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে।  $V_1$  এবং  $V_2$  দুইটি ডায়োড। একটি ট্রান্সফর্মারের

গোণ কুণ্ডলীর A প্রান্তের সহিত  $V_1$  ভাল্ভের প্রেট এবং B প্রান্তের সহিত  $V_2$ -ভাল্ভের প্রেট যুক্ত থাকে। ভাল্ভের ক্যাথোডের পরস্পরের সহিত যুক্ত। ট্রান্সফর্মারের গোণ কুণ্ডলীর মধ্যবিন্দু D এবং ক্যাথোডের সংযোগস্থল C-এর মধ্যে একটি রোধক R যুক্ত থাকে।

গোণ কুণ্ডলীতে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হইলে এক অর্ধপর্যায়ে উহার A-প্রান্ত ধনাত্মক এবং B-প্রান্ত ঋণাত্মক হয়। এই সময়  $V_2$ -ভাল্ভের প্রেট ইহার ক্যাথোডের

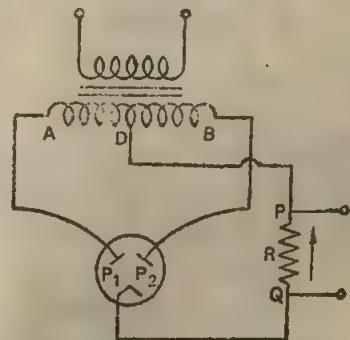


চিত্র 2.6



চিত্র 2.7

ইহার পরবর্তী অর্ধপর্যায়ে গোণ কুণ্ডলীর A-প্রান্ত ঋণাত্মক এবং B-প্রান্ত ধনাত্মক হইবে। এই সময় ভাল্ভ  $V_1$  নিষ্ক্রিয় থাকিবে এবং  $V_2$  সক্রিয় হইবে। ইহার ফলে ঋণ-তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে তাহাও R-রোধকের মধ্য দিয়া যাইবে। এই প্রবাহের অভিমুখও Q হইতে P-এর দিকে। এই সময় প্রযুক্ত তড়িচ্চালক বল ও R-এর মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের তরঙ্গরূপ কর্তৃক হইবে তাহা 2.7 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। এক্ষেত্রে পর্যায়কালের দুই অর্ধেই তড়িৎ-প্রবাহ যাইতেছে বলিয়া এই প্রক্রিয়াকে পূর্ণ-তরঙ্গ একমুখীকরণ (full-wave rectification) বলা হয়।



চিত্র 2.8



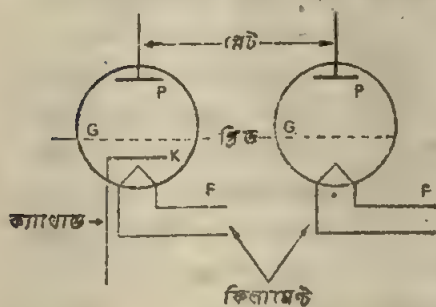
দুইটি ডায়োডের পরিবর্তে একটি দুই প্লেট-বিশিষ্ট ডায়োড ব্যবহার করিয়াও পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ সম্ভব। এইরূপ ডায়োডকে 'ডাব্লু ডায়োড' (double diode) বলা হয়। ডাব্লু ডায়োড দ্বারা একমুখীকরণের সময় বর্তনী কীরূপ হইবে তাহা 2.8 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। পূর্বের আলোচনা হইতে সহজেই এই বর্তনীর কার্যনীতি বুঝা যায়। পর্যায়কালের এক অর্ধে প্লেট  $P_1$  ক্যাথোডের সাপেক্ষে ধনাত্মক এবং  $P_2$  ঋণাত্মক হইবে এবং পরবর্তী অর্ধে প্লেট  $P_2$  ক্যাথোডের সাপেক্ষে ধনাত্মক হইবে এবং  $P_1$  ঋণাত্মক হইবে। সুতরাং, এক অর্ধপর্যায়  $P_1$ -এর মধ্য দিয়া এবং অন্য অর্ধপর্যায়  $P_2$ -এর মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিবে।

## 2.7 ডায়োডের ব্যবহার

পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে পরিণত করিবার জন্যই প্রধানত ডায়োড ব্যবহৃত হয়। ইহা ছাড়া, রেডিও গ্রাহক যন্ত্রে সঙ্গামী বা ডিটেকটর (detector) রূপে ডায়োডের ব্যবহার আছে। ডিটেকটর রূপেও মূলত ইহার কাজ একমুখীকরণ।

## 2.8 ট্রায়োড (Triode)

1907 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী এল. ডি ফরেস্ট ডায়োডের দুই তড়িদ্বারের মধ্যে



চিত্র 2.9

আর একটি তড়িদ্বার প্রবেশ করাইয়া অত্যন্ত উপযোগী একটি নূতন ধরনের ভাল্ভ তৈয়ারী করেন। এই ভাল্ভে তিনটি তড়িদ্বার থাকে বলিয়া ইহাকে ট্রায়োড ভাল্ভ বলা হয়। 2.9 নং চিত্রে ট্রায়োড ভাল্ভের একটি সরল নকশা দেওয়া হইয়াছে।

সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য একটি কাচের পাত্রে তিনটি তড়িদ্বার প্রবেশ করাইয়া ট্রায়োড ভাল্ভ তৈয়ারী করা হয়।

(i) ক্যাথোড : ক্যাথোড দুই প্রকারের হইতে পারে। প্রত্যক্ষভাবে উত্তপ্ত ক্যাথোডের ক্ষেত্রে ফিলামেন্ট এই ক্যাথোডের ন্যায় ক্রিয়া করে। পরোক্ষভাবে উত্তপ্ত ক্যাথোডের ক্ষেত্রে ক্যাথোডটি ফিলামেন্টকে চারিদিক হইতে ঘিরিয়া থাকে। ফিলামেন্টের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইলে উহাতে যে-তাপ উৎপন্ন হয় সেই তাপের প্রভাবেই ক্যাথোড উত্তপ্ত হয়। চিত্রে ক্যাথোডকে K দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।

(ii) গ্রিড : ইহা একটি ধাতব তার জালির ন্যায়। ইহাকে ক্যাথোড ও প্লেটের মধ্যবর্তী অংশে ক্যাথোডের কিছুটা নিকটে রাখা হয়। চিত্রে ইহাকে G দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।

(iii) প্রেট : ইহা সাধারণত চোঙাকৃতি । ইহা গ্রিড এবং ক্যাথোডকে ঘিরিয়া থাকে ।

**গ্রিডের কাজ :** প্রেট অপেক্ষা গ্রিড ক্যাথোডের নিকটবর্তী বলিয়া গ্রিডের বিভব-বৈষম্যের সামান্য পরিবর্তনে ক্যাথোড হইতে প্রেটে আগত ইলেকট্রন-প্রবাহের মান অনেকটা পরিবর্তিত হয় । গ্রিডের বিভব ক্যাথোডের বিভবের সাপেক্ষে ঋণাত্মক হইলে উহা ক্যাথোড হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রনের উপর বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে ফলে পূর্বাপেক্ষা কম সংখ্যক ইলেকট্রন প্রেটে আসিয়া পৌঁছায় । আবার ক্যাথোডের সাপেক্ষে গ্রিড ধনাত্মক বিভবে থাকিলে উহা ইলেকট্রনকে আকর্ষণ করিবে, ফলে অপেক্ষাকৃত অধিক সংখ্যক ইলেকট্রন প্রেটে আসিতে সক্ষম হইবে । কাজেই তড়িৎ-প্রবাহের মানও বাড়িবে । লক্ষণীয় যে, ক্যাথোডের সাপেক্ষে গ্রিড ধনাত্মক বিভবে থাকিলে ক্যাথোড হইতে গ্রিডে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন আসিবে অর্থাৎ গ্রিড হইতে ক্যাথোডে একটি তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে । যে-সকল ক্ষেত্রে গ্রিড-প্রবাহ (grid current) বাঞ্ছনীয় নয়, সেই সকল ক্ষেত্রে গ্রিডকে সর্বদা ক্যাথোডের সাপেক্ষে নিম্নতর বিভবে রাখা হয় । যে ব্যাটারীর সাহায্যে গ্রিডকে সর্বদা ক্যাথোডের সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভবে রাখার ব্যবস্থা করা হয় সেই ব্যাটারীর দুই তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্যকে গ্রিড বায়াস (grid bias) বলা হয় ।

## 2.9 ট্রায়োডের স্থৈতিক বৈশিষ্ট্য লেখসমূহ

(Static characteristic curves of a triode)

ট্রায়োডের নানাবিধ ব্যবহার আছে, তবে আমরা শুধু বিভব-বিবর্ধক (voltage amplifier) রূপে ট্রায়োডের ব্যবহারই আলোচনা করিব । ট্রায়োডের কার্যনীতি বুঝিতে হইলে উহার স্থৈতিক বৈশিষ্ট্য লেখচিত্রগুলি সম্বন্ধে ধারণা থাকা প্রয়োজন ।

ট্রায়োডের প্রেট-প্রবাহ (plate current) মূলত দুটিই রাশির উপর নির্ভরশীল—

(i) ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্রেটের বিভব,  $e_b$  (ধরি) এবং (ii) ক্যাথোডের সাপেক্ষে গ্রিডের বিভব,  $e_g$  (ধরি) । কাজেই বলা যায় যে, প্রেট-প্রবাহ ( $i_b$ ) উপরি-উক্ত দুইটি রাশির, অর্থাৎ  $e_b$  এবং  $e_g$ -এর অপেক্ষক (function) । গাণিতিক ভাষায় লেখা যায়,

$$i_b = f(e_b, e_g) \quad \dots (2.2)$$

2.2নং সমীকরণকে একটি ত্রিমাত্রিক তল (three-dimensional surface)-এর দ্বারা প্রকাশ করা যায়, কেননঃ এখানে  $i_b$ ,  $e_b$  এবং  $e_g$ —এই তিনটি রাশিকে প্রকাশ করিবার জন্য পরস্পর লম্বাভিমুখী তিনটি সরলরেখা প্রয়োজন । উপরি-উক্ত তিনটি রাশির মধ্যে যে-কোন একটিকে স্থির রাখিয়া অপর দুইটি রাশির সম্পর্ক লেখচিত্রের আকারে প্রকাশ করিলে মোট তিনটি লেখচিত্র পাওয়া যাইবে । যথা—

(i)  $e_g$  স্থির রাখিয়া  $i_b$  এবং  $e_b$ -এর সম্পর্কের লেখচিত্র,

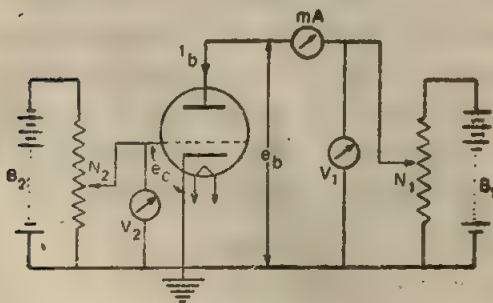
(ii)  $e_b$  স্থির রাখিয়া  $i_b$  এবং  $e_g$ -এর সম্পর্কের লেখচিত্র এবং

(iii)  $i_b$  স্থির রাখিয়া  $e_b$  এবং  $e_g$ -এর সম্পর্কের লেখচিত্র ।

উপরি-উক্ত লেখচিত্রগুলি অস্কনের জন্য যে-বর্তনী গঠন করিতে হয় তাহা 2.10 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে।

(i) ফিলামেন্ট-বর্তনী : একটি রিওস্ট্যাট এবং একটি নিম্ন তড়িচ্চালক বল (প্রায় 6 ভোল্ট)-এর একটি ব্যাটারী ফিলামেন্টের সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত থাকে। এই বর্তনী সংহত করিলে ফিলামেন্টের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ যায়, ফলে ফিলামেন্টে তাপ উদ্ভূত হয়। এই তাপ শোষণ করিয়া ক্যাথোড উত্তপ্ত হয়, ফলে ইহাতে ইলেকট্রন নিঃসরণ শুরু হয় (চিত্রে ফিলামেন্ট-বর্তনী দেখান হয় নাই)।

(ii) প্লেট-বর্তনী : একটি রোধ-এর দুই প্রান্তে একটি উচ্চ বিভব-বৈষম্য-



চিত্র 2.10

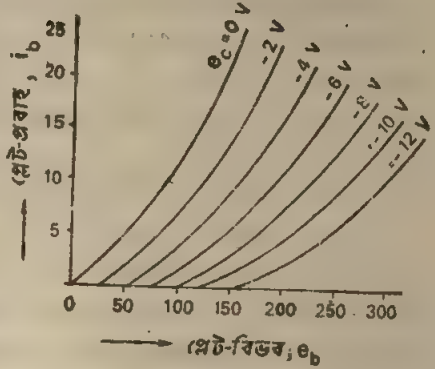
সম্পন্ন ব্যাটারী ( $B_1$ ) যুক্ত করা হয়। এই ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরু ক্যাথোডের সহিত যুক্ত থাকে। প্লেটকে উক্ত রোধ-এর বিভিন্ন বিন্দুর সহিত স্পর্শ করাইলে ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্লেটের বিভব-বৈষম্যের মান পরিবর্তিত হয়। পরিবর্তনশীল

বিভব-বৈষম্য সৃষ্টির এই ব্যবস্থাকে পোটেনসিওমিটার ব্যবস্থা বলা হয়। প্লেটকে পোটেনসিওমিটারের বিভিন্ন বিন্দুর সংস্পর্শে আনিয়া উহাকে ক্যাথোডের সাপেক্ষে বিভিন্ন মানের ধনাত্মক বিভবে রাখা যায়। প্লেট-বর্তনীতে একটি মিলি-অ্যামিটার (mA) স্থাপন করা হয়। ইহার সাহায্যে প্লেট-বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ পরিমাপ করা যায়। প্লেট এবং ক্যাথোডের মধ্যে একটি ভোল্টমিটার  $V_1$  যুক্ত থাকে। ইহার সাহায্যে ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্লেটের বিভব ( $e_b$ ) পরিমাপ করা হয়।

(iii) গ্রিড-বর্তনী : গ্রিড-বর্তনীতে নিম্ন মানের বিভব-বৈষম্যের একটি ব্যাটারী ( $B_2$ ) থাকে। ইহার ধনাত্মক তড়িদ্বারটি ক্যাথোডের সহিত যুক্ত করা থাকে। পোটেনসিওমিটার ব্যবস্থার সাহায্যে ক্যাথোডের সাপেক্ষে গ্রিডের বিভব পরিবর্তন করিবার ব্যবস্থা থাকে। গ্রিড এবং ক্যাথোডের মধ্যে একটি ভোল্টমিটার  $V_2$  যুক্ত থাকে। ইহার সাহায্যে ক্যাথোডের সাপেক্ষে গ্রিডের বিভব ( $e_g$ ) পরিমাপ করা যায়।

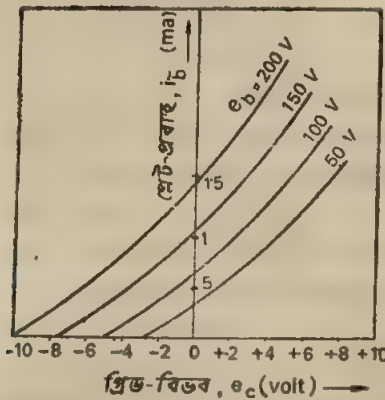
(i) গ্রিড-বিভব :  $e_g$ -কে একটি নির্দিষ্ট মানে স্থির রাখা হইল। প্লেট-এর সহিত যুক্ত পোটেনসিওমিটারের সংযোগস্থান  $N_1$ -এর অবস্থান বদলাইলে

$e_b$ -এর মান পরিবর্তিত হইবে। ভোল্টমিটার  $V_1$ -এর পাঠ হইতে  $e_b$ -এর মান পাওয়া যায়।  $e_b$ -এর বিভিন্ন মানের জন্য প্রেট-প্রবাহ কত হইতেছে তাহা মিলি-অ্যাম্পিটার (mA)-এর সাহায্যে মাপা হইল।  $e_b$ -এর বিভিন্ন স্থির মানে  $e_b$  এবং  $i_b$ -এর সম্পর্কের লেখচিত্রের আকারে প্রকাশ করিলে ঐ লেখচিত্রগুলি কীরূপ হইবে তাহা 2.11 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। এই লেখচিত্রকে প্রেট বৈশিষ্ট্য লেখ (plate characteristics) বা অ্যানোড বৈশিষ্ট্য লেখ (anode characteristics) বলা হয়।



চিত্র 2.11

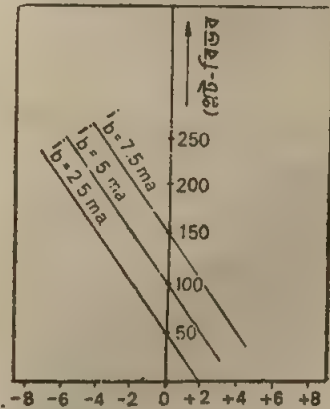
(ii) এইবার প্রেট-বিভব  $e_b$ -কে একটি নির্দিষ্ট মানে স্থির রাখা হইল। পোটেন্সিওমিটার ব্যবস্থার সাহায্যে (অর্থাৎ,  $N_2$ -এর অবস্থান বদলাইয়া) গ্রিড-বিভব  $e_c$ -এর মানের পরিবর্তন করিয়া প্রেট-প্রবাহ  $i_b$ -এর আনুষঙ্গিক মান মাপিয়া লওয়া হইল। যে-লেখচিত্র



চিত্র 2.12

স্থির প্রেট-বিভবে গ্রিড-বিভব ও প্রেট-প্রবাহের সম্পর্ক প্রকাশ করে তাহাকে পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য লেখ (mutual characteristic curve) বলা হয়। 2.12 নং চিত্রে বিভিন্ন প্রেট-বিভবে পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য লেখ অঙ্কিত হইয়াছে।

(iii) ইহার পর প্রেট-প্রবাহ  $i_b$ -কে একটি নির্দিষ্ট মানে রাখা হইল।  $e_c$ -এর মান সামান্য পরিবর্তন করিলে  $i_b$ -এর মানও পরিবর্তিত হইবে।  $e_b$ -এর মান



চিত্র 2.13



বদলাইয়া প্লেট-প্রবাহকে পূর্বের মানে ফিরাইয়া আনা হইল। এইরূপে,  $e_c$ -এর বিভিন্ন মানে  $e_b$ -এর মান কত হইলে প্লেট-প্রবাহ স্থির থাকিবে তাহা নির্ণয় করা হইল। স্থির প্লেট-প্রবাহে  $e_c$  এবং  $e_b$ -এর পারস্পরিক সম্পর্কের লেখচিত্রকে স্থির প্রবাহ বৈশিষ্ট্য লেখ (constant current characteristics) বলা হয়। 2.13 নং চিত্র বিভিন্ন প্লেট-প্রবাহে স্থির-প্রবাহ বৈশিষ্ট্য লেখচিত্র অঙ্কিত হইয়াছে।

## 2.10 ট্রায়োডের প্রাচলসমূহ (Parameters of a triode)

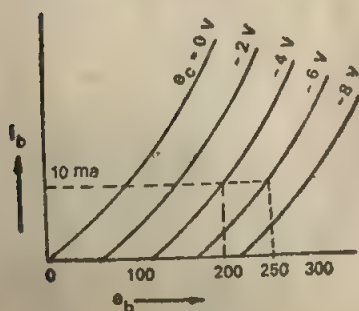
ট্রায়োড ভাল্ভের বৈশিষ্ট্য সাধারণত তিনটি প্রাচল বা পারামিটার (parameters)-এর সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। যখন ট্রায়োডের ক্রিয়া (operation) উহার বৈশিষ্ট্য লেখচিত্রগুলির সরলরেখা অংশে সীমাবদ্ধ থাকে তখন এই প্রাচলগুলি মোটামুটিভাবে ধ্রুবক। ট্রায়োডের প্রাচলগুলি হইল—(i) বিবর্ধনাক্ষ (amplification factor), (ii) প্লেট-রোধ (plate resistance) এবং (iii) পারস্পরিক পরিবাহিতাক্ষ (transconductance or mutual conductance)।

(i) বিবর্ধনাক্ষ : প্লেট-প্রবাহের একই পরিমাণ পরিবর্তন করিতে প্লেট-বিভবের পরিবর্তনের সাপেক্ষে গ্রিড-বিভবের পরিবর্তনের আপেক্ষিক কার্যকারিতার পরিমাপ হইল ট্রায়োডের বিবর্ধনাক্ষ। বিবর্ধনাক্ষের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

প্লেট-প্রবাহ ধ্রুবক থাকিলে প্লেট-বিভবের পরিবর্তন এবং গ্রিড-বিভবের পরিবর্তনের অনুপাতকে ট্রায়োডের বিবর্ধনাক্ষ বলা হয়। প্লেট-প্রবাহ স্থির রাখিতে হইলে প্লেট-বিভবের পরিবর্তন এবং গ্রিড-বিভবের পরিবর্তন পরস্পর বিপরীত চিহ্ন বিশিষ্ট হওয়া প্রয়োজন। অর্থাৎ, প্লেট-বিভব হ্রাস পাইলে প্রবাহ স্থির রাখার জন্য গ্রিড-বিভব বৃদ্ধি করিতে হইবে। কাজেই, গাণিতিক ভাষায় লেখা যায়,

$$\text{বিবর্ধনাক্ষ, } \mu = -\frac{\Delta e_b}{\Delta e_c}, \text{ যখন } i_b \text{ ধ্রুবক,}$$

এখানে  $\Delta e_b$  = প্লেট-বিভবের পরিবর্তন এবং  $\Delta e_c$  = গ্রিড-বিভবের পরিবর্তন।



চিত্র 2.14

স্থির-প্রবাহ বৈশিষ্ট্য লেখচিত্র হইতে ট্রায়োডের বিবর্ধনাক্ষের মান পাওয়া যায়। ঋণাত্মক চিহ্ন সহযোগে এই লেখচিত্রের নতিই ট্রায়োডের বিবর্ধনাক্ষ।

প্লেট-বৈশিষ্ট্য লেখচিত্রাবলী হইতেও বিবর্ধনাক্ষের মান নির্ণয় করা যায়। 2.14 নং চিত্রটি বিবেচনা করা যাক। যখন প্লেট-বিভবের মান 200 volt এবং গ্রিড-বিভবের মান -4 volt তখন প্লেট-প্রবাহ  $i_b = 10 \text{ mA}$ ।

প্লেট-বিভবকে 200 volt হইতে বাড়াইয়া যখন 250 volt করা হইল তখন

প্লেট-প্রবাহ স্থির রাখিবার জন্য গ্রিডের বিভবকে  $-4$  volt হইতে  $-6$  volt-এ নামাইতে হইবে। অর্থাৎ,

$$\Delta e_b = (250 - 200) \text{ volt} = 50 \text{ volt}$$

$$\Delta e_c = -6 - (-4) \text{ volt} = -2 \text{ volt}$$

$$\text{কাজেই, বিবর্ধনাঙ্ক } \mu = -\frac{\Delta e_b}{\Delta e_c} = -\frac{50}{-2} = 25$$

(ii) প্লেট-রোধ : গ্রিড-বিভব স্থির থাকিলে প্লেট-বিভবের পরিবর্তন ও প্লেট-প্রবাহের পরিবর্তনের অনুপাতকে প্লেট-রোধ বলা হয়। গাণিতিক ভাষায়,

$$\text{প্লেট-রোধ, } r_p = \frac{\Delta e_b}{\Delta i_b}, \text{ যখন } e_c \text{ ধ্রুবক}$$

এখানে,  $\Delta e_b$  = প্লেট-বিভবের পরিবর্তন এবং  $\Delta i_b$  = প্লেট-প্রবাহের পরিবর্তন। স্পষ্টতই, প্লেট-রোধ প্লেট-বৈশিষ্ট্য লেখচিত্রের নতির অন্যান্যক (reciprocal of the slope)-এর সমান।

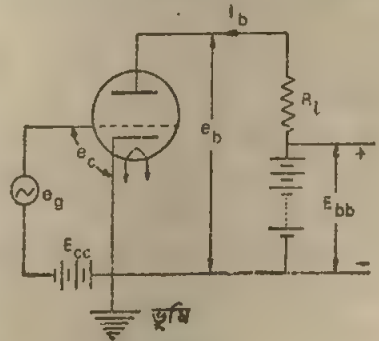
(iii) পারস্পরিক পরিবাহিতাঙ্ক : প্লেট-বিভব স্থির থাকিলে প্লেট-প্রবাহের পরিবর্তন ও গ্রিড-বিভবের পরিবর্তনের অনুপাতকে পারস্পরিক পরিবাহিতাঙ্ক বলা হয়। গাণিতিক ভাষায় লেখা যায়,

$$\text{পারস্পরিক পরিবাহিতাঙ্ক, } g_m = \frac{\Delta i_b}{\Delta e_c}, \text{ যখন } e_b \text{ ধ্রুবক।}$$

লক্ষণীয় যে, ট্রায়োডের এই প্রাচলটি পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য লেখ-এর নতির সমান।

## 2.11 লিবর্শ'ক হিসাবে ট্রায়োড (Triode as an amplifier)

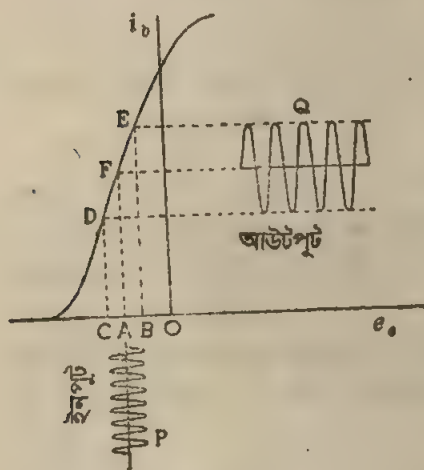
ট্রায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী বিভব-বৈষম্যকে বিবর্ধিত করা যায়। 2.15-নং চিত্রের বর্তনীটি বিবেচনা করা যাক। প্লেট-বর্তনীতে একটি উচ্চ বিভবসম্পন্ন ব্যাটারী এবং একটি রোধ  $R_L$  যুক্ত আছে। প্লেট-বর্তনীর এই রোধকে লোড রেজিস্ট্যান্স (Load resistance) বলা হয়। প্লেট-বর্তনীর ব্যাটারীর ঋণাত্মক তড়িদ্বার এবং ক্যাথোড ভূমির সহিত যুক্ত। গ্রিড বায়াস ব্যাটারীর ধনাত্মক তড়িদ্বার ক্যাথোডের সহিত এবং ঋণাত্মক তড়িদ্বার গ্রিডের সহিত সংযুক্ত থাকে। যে-পরিবর্তী বিভব-সঙ্কেত (voltage signal) বিবর্ধিত করিতে হইবে তাহাকেই গ্রিড-বর্তনীতে প্রয়োগ করা হয়। এই সঙ্কেতের প্রভাবে গ্রিড-ক্যাথোড বিভব  $e_c$  পরিবর্তিত হইতে



চিত্র 2.15

থাকে। এই পরিবর্তনের ফলে প্লেট-প্রবাহ পরিবর্তিত হয়, ফলে লোড রেজিস্ট্যান্স  $R_L$ -এর দুই প্রান্তে পরিবর্তী বিভব-বৈষম্যের উদ্ভব হয়। ইহাই সঞ্কেত বা সিগন্যাল-এর বিবর্তিত রূপ। বিবর্তক-বর্তনী কীভাবে ক্রিয়া করে নিয়ে তাহা আলোচনা করা হইল।

2.16 নং লেখচিত্রে ভূজ বরাবর গ্রিড-বিভব ( $e_g$ ) এবং কটি বরাবর



চিত্র 2.16

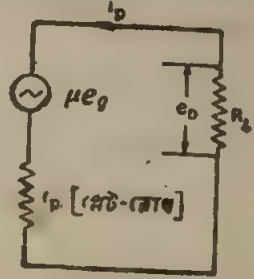
অ্যানোড-প্রবাহ বা প্লেট-প্রবাহ ( $i_b$ ) সূচিত হইয়াছে। গ্রিডে ষে-বায়াস ভোল্টেজ (grid bias) প্রয়োগ করা হইয়াছে চিত্রে তাহা OA দ্বারা সূচিত হইয়াছে। এক্ষেত্রে লেখচিত্রে F হইল ক্রিয়াবিন্দু (operating point or quiescent point)। গ্রিড-বর্তনীতে সঞ্কেত (signal) প্রয়োগ না করিলে তড়িৎ-প্রবাহ  $i_b$ -এর মান কত হইবে তাহা F বিন্দুর অবস্থান দ্বারা নির্ধারিত হয়। গ্রিডে ষে-প্রত্যাবর্তী বিভব [সিগন্যাল বা সঞ্কেত] প্রয়োগ করা হয় চিত্রে ইহাকে P দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। ইহাকে

ইনপুট (input) বলা হয়। এই প্রত্যাবর্তী বিভব প্রযুক্ত হইবার ফলে গ্রিড-বিভব সময়ের সাহিত্য পরিবর্তিত হইতে থাকিবে, কিন্তু ইহার মান সর্বদা OB এবং OC-এর মধ্যে থাকিবে। এই সময় ক্রিয়াবিন্দুটি  $i_b$ - $e_g$  লেখচিত্রে বরাবর এগাশ-ওগাশ খাতায়াক করিতে থাকে। গ্রিড-বায়াস OA-এর মান এইরূপ লওয়া হয় যাহাতে ক্রিয়াবিন্দুটি সর্বদা  $i_b$ - $e_g$  লেখচিত্রের সরলরৈখিক অংশে আবদ্ধ থাকে।

গ্রিড-বিভবের এই পরিবর্তনের ফলে প্লেট-প্রবাহও এইরূপভাবে পরিবর্তিত হইতে থাকে। প্লেট-প্রবাহের এই পরিবর্তন চিত্রের Q অংশে দেখান হইয়াছে। প্লেট-প্রবাহের পরিবর্তনের ফলে 2.15 নং চিত্রে অঙ্কিত বর্তনীর লোড-রেজিস্ট্যান্স  $R_L$ -এর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যেরও পরিবর্তন হইতে থাকে। এই সময়  $R_L$ -এর দুই প্রান্তে ষে-প্রত্যাবর্তী বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হয় তাহার প্রকৃতিও চিত্রের Q-চিহ্নিত স্থানে অঙ্কিত সাইন-বক্সের অনুরূপ হইবে।

লোড-রেজিস্ট্যান্সের দুই প্রান্তে উৎপন্ন এই প্রত্যাবর্তী বিভব-বৈষম্যই সঞ্কেতের বিবর্তিত রূপ বা আউটপুট। ইহার তরঙ্গরূপ প্লেট-প্রবাহের প্রত্যাবর্তী অংশের সমানুপাতিক হইবে।  $R_L$ -এর মান যত বেশি হইবে ইহার দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের বিস্তার (amplitude) তত বেশি হইবে। বুঝা যাইতেছে যে,  $i_b$ - $e_g$  লেখচিত্রের নতি যত বেশি হইবে বিবর্তকরূপে ট্রায়োড তত বেশি কার্যকরী হইবে।

বিভব-বিবৰ্ধনের মান কত হইবে নিম্নরূপে তাহা নির্ণয় করা যায়। বিবৰ্ধনাঙ্ক  $\mu$ -এর সংজ্ঞা হইতে আমরা জানি যে, গ্রিড-বর্তনীতে বিভব-বৈষম্যের পরিবর্তন  $e_p$  হইলে প্রেট-প্রবাহ  $i_b$ -এর যে-পরিবর্তন হয়, সেই পরিবর্তন করিতে হইলে প্রেট-বর্তনীর বিভবের পরিবর্তন হয়  $\mu e_p$ । অর্থাৎ, গ্রিড-বর্তনীতে সংকেত-বিভব  $e_p$  প্রয়োগ করা প্রেট-বর্তনীতে  $\mu e_p$  বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করার তুল্য। সুতরাং বলা যায়, ট্রায়োড ভাল্ভটি বর্তনীতে  $\mu e_p$  তড়িচ্চালক বলসম্পন্ন বিভব-উৎস (potential source)-এর ন্যায় ক্রিয়া করে। ইহা ছাড়া, আমরা জানি যে, পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে প্রেট একটি রোধ প্রয়োগ করে; ইহাই প্রেট-রোধ ( $r_p$ )। ট্রায়োডের প্রেট-রোধ উক্ত তুল্য বিভব আভ্যন্তরীণ রোধের ন্যায় ক্রিয়া করে। সুতরাং কেবলমাত্র পরিবর্তী প্রবাহমাত্রা বিচার করিলে



চিত্র 2.17

2.15 নং চিত্রে আঙ্কিত বর্তনীটির একটি তুল্য বর্তনী (a. c. equivalent circuit) অঙ্কন করা যায়। ইহা 2.17 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। লক্ষণীয় যে, তুল্য বর্তনীতে  $E_{bb}$ -এর তড়িচ্চালক বলসম্পন্ন ব্যাটারীটি দেখান হয় নাই। ইহার কারণ এই যে,  $E_{bb}$ -এর ক্রিয়ায় প্রেট-বর্তনীতে একটি স্থির প্রবাহ যায়। আমরা যখন কেবলমাত্র পরিবর্তী প্রবাহ বিবেচনা করিব তখন উক্ত ব্যাটারীর উল্লেখ অনাবশ্যক। ওহমের সূত্র হইতে বর্তনীর প্রবাহ,

$$i_p = \frac{\text{তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{\mu e_p}{(r_p + R_L)} \quad \dots \quad (2.6)$$

এখন, বিবৰ্ধিত বিভব-বৈষম্য বা আউটপুট,  $e_o = i_p R_L$

$$e_o = \frac{\mu e_p}{r_p + R_L} \times R_L \quad \dots \quad (2.7)$$

সংজ্ঞানুসারে, ভোল্টেজ বিবৰ্ধন (voltage amplification)

$$A = \frac{\text{আউটপুট}}{\text{ইনপুট বা সংকেত}} = \frac{e_o}{e_p} \quad \dots \quad (2.8)$$

সমীকরণ (2.7) এবং (2.8) হইতে পাই,

$$\text{ভোল্টেজের বিবৰ্ধন, } A = \frac{\mu R_L}{r_p + R_L} = \frac{\mu}{1 + \frac{r_p}{R_L}} \quad \dots \quad (2.9)$$

2.9 নং সমীকরণ হইতে দেখা যাইতেছে যে,  $R_L$ -এর মান যত বেশি হইবে বিবৰ্ধন A-এর মান তত বেশি হইবে। যখন  $R_L \gg r_p$ , তখন  $1 + \frac{r_p}{R_L} \approx 1$ । এই অবস্থায় A-মান প্রায়  $\mu$ -এর সমান। লক্ষণীয় যে, বিবৰ্ধক A-এর মান  $\mu$  অপেক্ষা বেশি হইতে পারে না। অর্থাৎ, ট্রায়োডে বিবৰ্ধনের সর্বোচ্চ মান উহার বিবৰ্ধনাঙ্ক দ্বারাই নির্ধারিত হয়।



## সমাপ্তানসহ গাণিতিক প্রশ্ন

**উদাহরণ 2.1** ফোন বিবর্ধকে 25 বিবর্ধনাঙ্কবিশিষ্ট এবং  $8000\Omega$  প্রেট-রোধবিশিষ্ট একটি ট্রান্সফরমার ব্যবহৃত হইয়াছে। প্রেট-বর্তনীতে ব্যবহৃত লোড রেজিস্ট্যান্স (load resistance)-এর মান  $12000\Omega$  হইলে বিভব-বিবর্ধনের মান নির্ণয় কর।

**সমাধান :** আমরা জানি যে, বিবর্ধন  $A = \frac{\mu R_1}{r_p + R_1}$

এখানে,  $\mu = 25$ ,  $R_1 = 12,000\Omega$  এবং  $r_p = 8,000\Omega$

$$\therefore A = \frac{25 \times 12000}{(8000 + 12000)} = 15$$

## 2.12 রেডিওর মূলনীতি (Principle of radio)

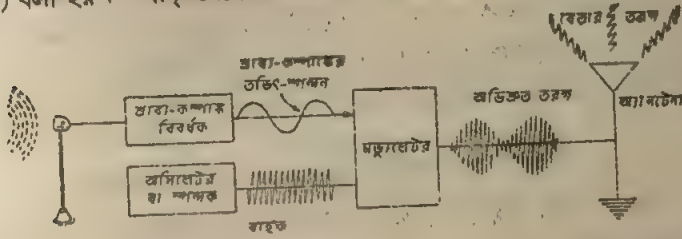
রেডিও বা বেতার-সম্বন্ধ বিজ্ঞানের এক বিস্ময়কর আবিষ্কার। ইহা সঙ্কেত প্রেরণ করিবার সর্বাপেক্ষা দ্রুত পদ্ধতি। বেতার-সঙ্কেত শূন্যস্থানের মধ্য দিয়া সেকেন্ডে  $3 \times 10^{10}$  cm বা প্রায় 186000 মাইল দূরত্ব অতিক্রম করে। ইহার অর্থ এই যে, বেতার তরঙ্গ সেকেন্ডে প্রায়  $7\frac{1}{2}$  বার পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করিতে পারে। পৃথিবীর এক স্থান হইতে অন্য যে কোন দূরবর্তী স্থানে যাইতে বেতার-তরঙ্গের 0.07 সেকেন্ডের বেশি সময় লাগে না। বেতার-তরঙ্গের সাহায্যে সঙ্কেত প্রেরণ ও গ্রহণের জন্য বেতার-প্রেরক যন্ত্র এবং বেতার-গ্রাহক যন্ত্রের মধ্যে কোনরূপ তারের সংযোগ রাখিবার প্রয়োজন নাই। টেলিগ্রাফ বা টেলিফোন পদ্ধতিতে বার্তা প্রেরণের সহিত বেতার-পদ্ধতিতে বার্তা প্রেরণের ইহাই মৌলিক পার্থক্য।

বেতার-তরঙ্গ (radio waves) একপ্রকার তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ। ইহার প্রকৃতি আলো ও অন্যান্য বিকিরণ-এর অনুরূপ। বেতার-তরঙ্গের সাহায্যে শব্দকে এক স্থান হইতে অন্য স্থানে প্রেরণ করা হয়। রেডিও ব্যবস্থায় প্রধানত দুইটি অংশ থাকে, যথা—(i) প্রেরণ-ব্যবস্থা (transmission system) ও (ii) গ্রহণ-ব্যবস্থা (receiving system)।

## 2.13 বেতার-তরঙ্গ প্রেরণ-ব্যবস্থা

2.18 নং চিত্রে বেতার-তরঙ্গ সারফং শব্দ-সঙ্কেত প্রেরণ করিবার প্রচলিত ব্যবস্থার বিভিন্ন অংশ দেখান হইয়াছে। প্রথমে একটি স্পন্দক (oscillator)-এর সাহায্যে উচ্চ কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট পরিবর্তী বিভব বা ভোল্টেজ উৎপন্ন করা হয়। কোয়ার্টজ কেলাসের সাহায্যে স্পন্দকের কম্পাঙ্ক একটি নির্দিষ্ট মানে স্থির রাখিবার বিশেষ ব্যবস্থা থাকে। স্পন্দকের সাহায্যে উৎপন্ন পরিবর্তী বিভবকে একটি বিবর্ধক (amplifier)-এর সাহায্যে বিবর্ধিত করিয়া লওয়া হয়।

বেতার-তরঙ্গের সাহায্যে যে-শব্দ প্রেরণ করিতে হইবে তাহাকে প্রথমে তড়িৎ-স্পন্দনে রূপান্তরিত করিয়া লওয়া হয়। টেলিফোন-ব্যবস্থায় যে-পদ্ধতিতে শব্দ-তরঙ্গকে তড়িৎ-স্পন্দনে রূপান্তরিত করা হয় এক্ষেত্রেও সেই পদ্ধতিতেই শব্দকে প্রথমে তড়িৎ-স্পন্দনে পরিণত করা হয়। এই তড়িৎ-স্পন্দনকে বাক্-তরঙ্গ (speech wave) বলা হয়। বাক্-তরঙ্গে যে-সকল কম্পাঙ্কের কম্পন থাকে সেই সকল

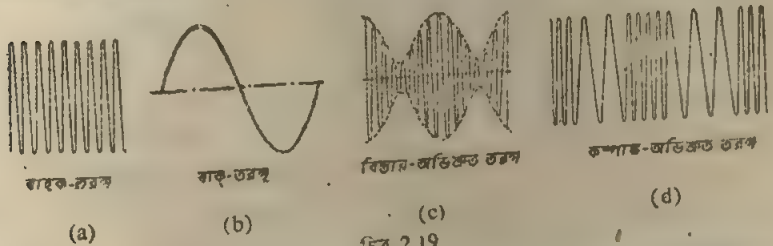


চিত্র 2.18

কম্পনে আমাদের প্রবেশদ্রিয় সড়া দেয় বলিয়া বাক্-তরঙ্গের বিভিন্ন কম্পাঙ্কে শ্রাব্য কম্পাঙ্ক (audible frequencies) বলা হয়। বাক্-তরঙ্গ সরাসরি দূরে পাঠান যায় না। এইজন্য বাক্-তরঙ্গকে স্পন্দকের সাহায্যে উৎপন্ন ও বিবর্তক-কর্তৃক বিবর্তিত উচ্চ কম্পাঙ্কের তরঙ্গের সহিত মিশ্রিত করিয়া দিতে হয়। উচ্চ কম্পাঙ্কের এই তরঙ্গই বাক্-তরঙ্গকে (অর্থাৎ, শব্দ-সঙ্কেতকে) বহন করিয়া স্থানান্তরে লইয়া যায় বলিয়া ইহাকে বাহক-তরঙ্গ (carrier wave) বলা হয়।

বাহক-তরঙ্গের সহিত বাক্-তরঙ্গ মিশ্রিত করিবার জন্য যে-পদ্ধতি ব্যবহৃত হয় তাহাকে বলা হয় মডুলেশন (modulation) বা অভিক্ষৃতি। সাধারণত দুইটি পদ্ধতিতে বাহক-তরঙ্গকে অভিক্ষৃত করা হয়। যথা—(i) বিস্তার-অভিক্ষৃতি (amplitude modulation) এবং (ii) কম্পাঙ্ক-অভিক্ষৃতি (frequency modulation)।

বিস্তার-অভিক্ষৃতি পদ্ধতিতে শব্দ-তরঙ্গের সাহায্যে বাহক-তরঙ্গের বিস্তারের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটান হয়। ইহার ফলে যে-মিশ্র তরঙ্গ সৃষ্টি হয় তাহাকে বলা হয় অভিক্ষৃত তরঙ্গ (modulated wave)। 2.19 নং চিত্রে বাহক-তরঙ্গ, বাক্-তরঙ্গ এবং অভিক্ষৃত



চিত্র 2.19

তরঙ্গের তরঙ্গরূপ দেখান হইয়াছে। লক্ষণীয় যে, বিস্তার-অভিক্ষৃত তরঙ্গের সমন্বয়-সরণ লেখচিত্রের এনভেলোপ (envelope)-এর রূপ বাক্-তরঙ্গের ন্যায় [2.19 (c)]।

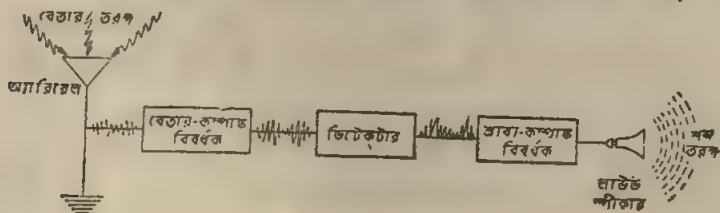
কম্পাঙ্ক-অভিশ্রুতি পদ্ধতিতে বাহক-তরঙ্গের বিস্তার অপরিবর্তিত থাকে, এই ক্ষেত্রে বাহক-তরঙ্গের দ্বারা বাহক-তরঙ্গের কম্পাঙ্কের পরিবর্তন করা যায়। 2.19 (d) নং চিত্রে কম্পাঙ্ক-অভিশ্রুত তরঙ্গের রূপ দেখান হইয়াছে।

বেতার-প্রেরক যন্ত্রের আনটেনায় এই অভিশ্রুত তড়িৎ-স্পন্দন সরবরাহ করিলে আনটেনা হইতে বেতার-তরঙ্গ নির্গত হইতে থাকে। এই বেতার-তরঙ্গের তরঙ্গরূপ অভিশ্রুত তরঙ্গের ন্যায়। কাজেই এই তরঙ্গের সাহায্যে বাহক-তরঙ্গ বাহিত হইয়া আনটেনা হইতে চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে। রেডিও গ্রাহক-যন্ত্র (receiver) এই বেতার-তরঙ্গ হইতে প্রেরিত শব্দ-সংকেত পুনরুদ্ধার করে।

## 2.14 রেডিও বা বেতার গ্রাহক-যন্ত্র (Radio receiver)

বাড়িতে বেতার-অনুষ্ঠান শুনবার জন্য আমরা যে-রেডিও ব্যবহার করি তাহা প্রকৃতপক্ষে বেতার গ্রাহক যন্ত্র। ইহার কার্য-পদ্ধতির কয়েকটি ধাপ আছে। 2.20 নং চিত্রে তাহা দেখান হইয়াছে।

বেতার স্টেশন হইতে আগত তড়িৎচুম্বকীয় সংকেত (অর্থাৎ, অভিশ্রুত-তরঙ্গ) গ্রাহক-যন্ত্রের আন্টেনায় ধরা পড়ে, ফলে উহাতে উচ্চ কম্পাঙ্কের, তড়িৎ-স্পন্দন



চিত্র 2.20

আবির্ভব হয়। এই ক্ষীণ স্পন্দনকে প্রথমে একটি বিবর্ধকের মধ্য দিয়া পাঠান হয়। বিবর্ধিত সংকেতকে ইহার পর ডিটেক্টর (detector)-এর মধ্য দিয়া পাঠান হয়। ডিটেক্টর প্রেরক স্টেশন হইতে আগত অভিশ্রুত তরঙ্গকে একমুখী (rectify) করে ইহার পর বাহক-তরঙ্গকে সহজে বাহক-তরঙ্গ হইতে পৃথক করিয়া লওয়া যায়। এই প্রক্রিয়াকে ডিমডমুলেশন (demodulation) বলা হয়। ইহার পর একমুখী অভিশ্রুত তরঙ্গকে একটি শ্রাব্য কম্পাঙ্ক বিবর্ধক (audio-frequency amplifier)-এর মধ্য দিয়া পাঠাইয়া বাহক-তরঙ্গকে বিবর্ধিত করিয়া লওয়া হয়। বিবর্ধিত বাহক-তরঙ্গকে লাইডস্পিকারের মধ্য দিয়া পাঠাইলে প্রেরিত শব্দানুষ্ঠানের পুনরাবৃত্তি শোনা যায়।

## 2.15 বেতার-তরঙ্গের বিস্তার

বেতার-কেন্দ্রের আনটেনা হইতে যে-তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ নিঃসৃত হয় তাহার এক অংশ পৃথিবী-পৃষ্ঠ ধরিয়া অগ্রসর হইতে থাকে এবং অপর অংশ উর্ধ্বাকাশ

অভিযুখে অগ্রসর হয়। যে-তরঙ্গ পৃথিবী-পৃষ্ঠ ঘেঁষিয়া আগাইতে থাকে তাহাকে ভূতল-তরঙ্গ বা পৃষ্ঠতরঙ্গ (surface waves) এবং যে-তরঙ্গ উর্ধ্বাকাশ অভিযুখে যান তাহাকে আকাশ-তরঙ্গ (sky waves) বলা হয়। ভূতল-তরঙ্গ পৃথিবী-পৃষ্ঠ ঘেঁষিয়া ঘাইবার সময় পৃথিবী-কর্তৃক শোষিত হইতে থাকে, ফলে এই তরঙ্গের সাহায্যে অধিক দূর পর্যন্ত যেতার সংকেত পাঠান যায় না। আকাশ-তরঙ্গের সাহায্যেই দূরবর্তী স্থানে যেতার যোগাযোগ সম্ভব হয়।

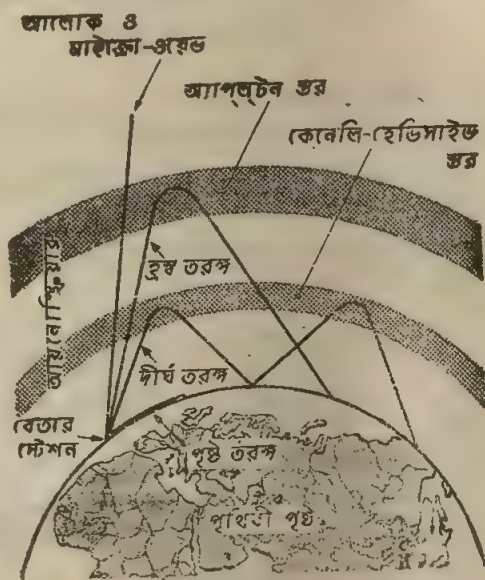
উর্ধ্ব বায়ুমণ্ডলে যে-আয়নমণ্ডল (ionosphere) আছে বেতার-তরঙ্গ তাহার দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া পৃথিবী-পৃষ্ঠের বহু দূরবর্তী স্থানে পৌঁছাইতে পারে। প্রকৃতপক্ষে বেতার-তরঙ্গ পর্যায়ক্রমে আয়ন-  
মণ্ডল ও পৃথিবী-কর্তৃক প্রতি-  
ফলিত হয়।

আলোক ও  
মাইক্রো-ওয়েভ  
↓  
আপগেটন স্তর

1902 খ্রীস্টাব্দে কেনেলি ও হেল্ডসাইড লক্ষ্য করেন যে, ভূপৃষ্ঠ হইতে প্রায় 60 মাইল উর্ধ্বে একটি তড়িৎ পরিবাহী স্তর রহিয়াছে। এই স্তর আয়ন ও ইলেকট্রন দ্বারা গঠিত। এই স্তরকে কেনেলি-হেল্ডসাইড স্তর (Kennelly-Heaviside layer) বলা হয়। দীর্ঘ বেতার-তরঙ্গ এই স্তর-কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া পৃথিবী-পৃষ্ঠের দূরবর্তী স্থানে গিয়া পৌঁছায় (চিত্র 2.21)। দেখা গিয়াছে যে,

এই স্তর উর্ধ্ব উঠিয়া যায়। এইজন্য কোন বেতারকেন্দ্র হইতে প্রচারিত অনুষ্ঠান দিনের বেলা যতদূর পর্যন্ত শোনা যায়, রাত্রিতে তদপেক্ষা বেশীদূর পর্যন্ত শোনা যায়।

আকাশ-তরঙ্গ হ্রস্ব হইলে কেনেলি-হেভিসাইড স্তর উহাদিগকে প্রতিফলিত করিতে পারে না। আমনমণ্ডলে অপেক্ষাকৃত উর্ধ্বে অবস্থিত অপর একটি আমন স্তর হইতে এই তরঙ্গ প্রতিফলিত হয়। বিজ্ঞানী অ্যাপ্পল্টন এই স্তরটি আবিষ্কার করেন বলিয়া এই স্তরকে অ্যাপ্পল্টন স্তর (Appleton layer) বলা হয়। এই স্তরের উচ্চতা 100 মাইল হইতে 250 মাইল পর্যন্ত। এই স্তর কেনেলি-হেভিসাইড স্তর অপেক্ষা উর্ধ্বে অবস্থিত বলিয়া হ্রস্ব-তরঙ্গ ব্যবহার করিয়া বেতার-সংকেত অধিকতর দূরবর্তী স্থানে পাঠান সম্ভব হয়।



চিত্র 2.2।



প্রসঙ্গত উল্লেখ্য যে, অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্রতর তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ ( মাইক্রো-ওয়েভ ও আলোক-তরঙ্গ ) আয়নমণ্ডলের কোন স্তর হইতেই প্রতিফলিত হয় না ।

• সমাধানসহ গাণিতিক প্রশ্নাবলী •

**উদাহরণ 2.2** কোন বেতার-কেজ হইতে 1000 kc/sec কম্পাঙ্কের তরঙ্গ ছাড়া হইতেছে । এই তরঙ্গের দৈর্ঘ্য কত ?

**সমাধান :** আমরা জানি যে, কোন তরঙ্গের গতিবেগ

$$(V) = \text{তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য } (\lambda) \times \text{কম্পাঙ্ক } (n)$$

$$\therefore \text{তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য } (\lambda) = \frac{V}{n}$$

প্রশ্নের শর্তানুসারে,  $V = 3 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$  এবং  $n = 10^8 \text{ kilocycles/sec}$   
 $= 10^8 \text{ cycles/sec}$

$$\therefore \lambda = \frac{V}{n} = \frac{3 \times 10^{10}}{10^8} \text{ cm} = 300 \text{ metre}$$

**উদাহরণ 2.3** যে-বেতার প্রেরক-যন্ত্র (radio transmitter) 10 cm দীর্ঘ বেতার-তরঙ্গ পাঠায় তাহার কম্পাঙ্ক কত ?

**সমাধান :** কম্পাঙ্ক,  $n = \frac{\text{বেতার তরঙ্গের গতিবেগ } (V)}{\text{তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য } (\lambda)} = \frac{3 \times 10^{10}}{10} \text{ cycles/sec}$   
 $= 3,000 \text{ megacycles/sec}$

### সার-সংক্ষেপ

কোন ধাতব পদার্থকে উত্তপ্ত করিলে উহা হইতে ইলেকট্রন নিঃসৃত হইতে দেখা যায় । এই প্রক্রিয়াকে তাপায়ন নিঃসরণ (thermionic emission) বা তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ বলা হয় । কোন ধাতুর মধ্যবর্তী ইলেকট্রনকে ধাতব-পৃষ্ঠের বিভব-প্রাচীর অতিক্রম করিয়া বাহিরে আসিতে যে-ন্যূনতম কার্য করিতে হয় তাহাকে ঐ ধাতুপৃষ্ঠের কার্য-অপেক্ষক বলা হয় । যে-সকল ধাতু উচ্চ গলনাঙ্কবিশিষ্ট এবং যাহাদের কার্য-অপেক্ষকের মান কম সেই-সকল ধাতুকেই তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণের কাজে লাগান হয় ।

একটি বায়ুশূন্য কাচের বাল্বে দুইটি তড়িৎদ্বার স্থাপন করিয়া ডায়োড ভাল্ভ তৈয়ারী করা হয় । এই ভাল্ভের মধ্য দিয়া কেবল প্লেট হইতে ক্যাথোডের দিকে তড়িৎ-প্রবাহ যাইতে পারে । কিন্তু ক্যাথোড হইতে প্লেটের দিকে তড়িৎ-প্রবাহ যাইতে পারে না । ডায়োডের এই ধর্ম কাজে লাগাইয়া পরিবর্তী প্রবাহের একমুখীকরণ (rectification) করা হয় ।

ট্রায়োড ভাল্ভে তিনটি তড়িদ্বার থাকে—(i) ক্যাথোড, (ii) প্লেট এবং (iii) গ্রিড। প্লেটের তুলনায় গ্রিড ক্যাথোডের কাছাকাছি অবস্থিত বলিয়া প্লেট-প্রবাহ নিয়ন্ত্রণে প্লেট-বিভব অপেক্ষা গ্রিড-বিভব অনেক বেশি কার্যকরী।

ট্রায়োড ভাল্ভের বৈশিষ্ট্য সাধারণত তিনটি প্রাচলের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়—যথা—(i) বিবর্ধনাক্ষ (μ), (ii) প্লেট-রোধ ( $r_p$ ) এবং (iii) পারস্পরিক পরিবাহিতাক্ষ ( $g_m$ )।

$$\text{সংজ্ঞানুসারে, } \mu = -\frac{\Delta e_b}{\Delta e_c} \text{ (যখন } i_b = \text{ধ্রুবক)}$$

$$r_p = \frac{\Delta e_b}{\Delta i_b} \text{ (যখন } e_c = \text{ধ্রুবক)}$$

$$g_m = \frac{\Delta i_b}{\Delta e_c} \text{ (যখন } e_b = \text{ধ্রুবক)}$$

ট্রায়োড ভাল্ভের সাহায্যে পরিবর্তী বিভব-বৈষম্যকে বিবর্ধিত করা যায়। এই উদ্দেশ্যে সিগন্যাল প্রয়োগ করিতে হয় ক্যাথোড এবং গ্রিডের মধ্যে। সিগন্যালের বিবর্ধিত রূপটি পাওয়া যায় প্লেট-বর্তনীতে যুক্ত লোড-রেজিস্ট্যান্সের দুই প্রান্তে।

লোড-রেজিস্ট্যান্সের মান  $R_L$  হইলে ট্রায়োড-কর্তৃক বিবর্ধন

$$A = \frac{\mu R_L}{r_p + R_L}$$

রেডিও ব্যবস্থার প্রধানত দুইটি অংশ আছে—(i) প্রেরণ-ব্যবস্থা এবং (ii) গ্রহণ-ব্যবস্থা। বেতার-বস্ত্র প্রেরণ-ব্যবস্থার প্রথমে মঞ্চকে তড়িৎ-স্পন্দনে (বাক-তরঙ্গ) রূপান্তরিত করিয়া লওয়া হয়। এই বাক-তরঙ্গের সহিত একটি উপযুক্ত বাহক-তরঙ্গ মিশ্রিত করা হয়। এই প্রক্রিয়াকে মডুলেশন বা অভিভূতি বলা হয়। অভিভূত তরঙ্গই প্রেরক-বস্ত্রের অ্যান্টেনা হইতে চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। গ্রাহক-বস্ত্রের অ্যান্টেনায়ে এই অভিভূত তরঙ্গ ধরা পড়ে। গ্রাহক-বস্ত্রে প্রথমে এই তরঙ্গকে একমুখী করিয়া লওয়া হয়। ইহার পর একমুখী অভিভূত তরঙ্গ হইতে গ্রাব্য-কম্পাঙ্ক পৃথক করিয়া লওয়া হয়।

উষ্ণ বায়ুমণ্ডলে যে-আয়নমণ্ডল (ionosphere) আছে বেতার-তরঙ্গ উহার বিভিন্ন স্তর হইতে প্রতিফলিত হইয়া পৃথিবী-পৃষ্ঠের দূরবর্তী স্থানে পৌঁছিতে পারে।

## প্রশ্নমালা 2

### ছন্দোত্তর প্রশ্নাবলী

1. ক্যাথোডের সাপেক্ষে অ্যানোড ধনাত্মক বিভবে থাকিলে ডায়োড ভাল্ভের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ যাইতে পারে, কিন্তু ক্যাথোডের সাপেক্ষে অ্যানোড ঋণাত্মক বিভবে থাকিলে ডায়োডের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ যাইতে পারে না। ইহার কারণ কী?

2. ট্রায়োড ভাল্ভের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহ নিয়ন্ত্রণের ক্ষেত্রে প্রেট-বিভব অপেক্ষা প্রিড-বিভব অনেক বেশি কার্যকরী। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

3. ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্রেটের বিভব বাড়াইয়া যাইতে থাকিলে ডায়োডের তড়িৎ-প্রবাহও কি ক্রমাগত বাড়িবে? না হইলে কী হইবে? যুক্তিসহ উত্তর দাও।

4. ট্রায়োডের সাহায্যে প্রত্যাবর্তী বিভবকে বিবর্ধিত করা যায়। বিবর্ধকে বর্ধিত শক্তি কোথা হইতে আসে? [ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]

5. পার্যায়নিক ভাল্ভের ক্যাথোডে বেরিয়াম অক্সাইড, স্ট্রনসিয়াম অক্সাইড, থোরিয়াম অক্সাইড ইত্যাদি পদার্থের প্রলেপ ব্যবহার করা হয়। ইহার কারণ কী?

6. ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্রেট-বিভব শূন্য কিংবা সামান্য ঋণাত্মক থাকিলেও সামান্য প্রেট-প্রবাহ পাওয়া যায়। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

[ সংক্ষেপ : ক্যাথোড হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলির মধ্যে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রনের যথেষ্ট পরিমাণ গতিশক্তি থাকে। তাই ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্রেটের বিভব শূন্য হইলেও কিংবা ক্যাথোডের সাপেক্ষে প্রেট সামান্য ঋণাত্মক বিভবে থাকিলেও ক্যাথোড হইতে নির্গত কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন প্রেটে পৌঁছিতে সমর্থ হয়। ]

7. ডায়োড ভাল্ভের ক্যাথোডের উষ্ণতা স্থির থাকিলে প্রেট-প্রবাহের সর্বোচ্চ মানও নির্দিষ্ট হইয়া যায়। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

[ সংক্ষেপ : উষ্ণতা স্থির থাকিলে উহার প্রতি একক ক্ষেত্রফল হইতে একক সময়ে নির্দিষ্ট সংখ্যক ইলেকট্রনই নিঃসৃত হইতে পারে। প্রেট-বিভব উচ্চ হইলে ক্যাথোড-নিঃসৃত ইলেকট্রনের সবগুলিই প্রেটে পৌঁছিতে পারে। প্রেট-বিভব ইহা অপেক্ষা বাড়াইলে প্রেট-প্রবাহের মান আর বাড়িতে পারে না। প্রেট-প্রবাহের এই সর্বোচ্চ মানকে উষ্ণতা-সীমিত প্রবাহ (temperature-limited current) বলা হয়। ]

8. ডায়োড ভাল্ভের মধ্য দিয়া কেবল প্রেট হইতে ক্যাথোডের দিকে তড়িৎ-প্রবাহ যাইতে পারে, ক্যাথোড হইতে প্রেটের দিকে তড়িৎপ্রবাহ যাইতে পারে না। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

9. একই উষ্ণতায় অবস্থিত সকল উত্তপ্ত ধাতুখণ্ডের একক ক্ষেত্রফল হইতে সমান হারে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় কেন? যুক্তিসহ উত্তর দাও।

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

10. তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ কাহাকে বলে? কার্য-অপেক্ষক বলিতে কী বুঝ? রিচার্ডসনের সমীকরণটি কী? ইহার বিভিন্ন রাশির তাৎপর্য উল্লেখ কর।

11. তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ কাহাকে বলে? পরিবর্তী প্রবাহের একমুখীকরণের জন্য এই ধর্ম কীরূপে কাজে লাগান যায়? অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ অপেক্ষা পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণের সুবিধা কী? পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণের উদ্দেশ্যে যে-বর্তনী ব্যবহৃত হয় তাহা চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর। রেকটিফায়ারের প্রয়োজনীয়তা কী? ইহার দুইটি ব্যবহারের উল্লেখ কর।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]

12. (a) তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ প্রক্রিয়াটি ব্যাখ্যা কর। (b) বিবর্ধক হিসাবে ট্রায়োডের ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক (ত্রিপুরা), 1980, 1982 ]

13. ডায়োড-ভাল্ভের সাহায্যে পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহকে কীভাবে একমুখী করা যায় তাহা চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1978 ]

14. ডায়োড কী? ডায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহকে কীভাবে একমুখী করা হয়? [ উচ্চ মাধ্যমিক, ( ত্রিপুরা ), 1979 ]

15. একটি ভ্যাকুয়াম টিউব ডায়োডের বর্ণনা দাও এবং ইহার বৈশিষ্ট্য লেখগুলি (প্রবাহ-মাত্রা বনাম ভোল্টেজ) আঁকিয়া দেখাও ও ব্যাখ্যা কর। ডায়োডকে একমুখী-কারক হিসাবে ব্যবহার কীভাবে করা হয় তাহা ব্যাখ্যা কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1979 ]

16. (a) ট্রায়োডের আনোড বৈশিষ্ট্য লেখ এবং পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য লেখ সম্পর্কে টীকা লিখ। (b) একটি ট্রায়োডের ভাল্ভের সাহায্যে কীভাবে একটি প্রত্যাবর্তী বৈদ্যুতিক সঞ্চেত বিবর্ধিত করা যায় তাহা বুঝাইয়া দাও।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1982 ]

17. ট্রায়োড ভাল্ভের গঠন প্রণালীর বিস্তারিত বর্ণনা দাও। ডায়োডের সহিত ট্রায়োডের পার্থক্য কী? বিবর্ধকরূপে ট্রায়োড ভাল্ভের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]

18. (a) তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ কাহাকে বলে? (b) ট্রায়োডের স্থৈতিক বৈশিষ্ট্য লেখচিত্রগুলির প্রকৃতি বিশ্লেষণ কর। স্থৈতিক লেখচিত্র হইতে কী কী জানা যায়? (c) বিবর্ধকরূপে ট্রায়োডের কার্যপদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1970 ]

19. ট্রায়োডের প্রাচল তিনটি কী কী? ইহাদের সংজ্ঞা দাও। ট্রায়োডের প্রাচলগুলি নির্ণয় করিবার উপায় কী?

20. একটি ট্রায়োড ভাল্ভের গঠন বর্ণনা কর। ট্রায়োডকে বিবর্ধকরূপে কীভাবে ব্যবহার করা যায়? বেতার-তরঙ্গ প্রেরণ ও গ্রহণ সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা কর।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980 ]

21. ট্রায়োডের বিবর্ধনাঙ্ক বলিতে কি বুঝ? চিত্রের সাহায্যে বিবর্ধকরূপে ট্রায়োডের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

22. বাক-তরঙ্গ ও বাহক-তরঙ্গ কাহাকে বলে? অভিশ্রুতি বা মডুলেশন বলিতে কী বুঝ? বিস্তার-অভিশ্রুতি ও কম্পাঙ্ক-অভিশ্রুতির পার্থক্য কী? রেডিও প্রেরক-যন্ত্রের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

23. চিত্রসহ রেডিও গ্রাহক-যন্ত্র ও প্রেরক-যন্ত্রের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

24. আকাশ-তরঙ্গ এবং পৃষ্ঠ-তরঙ্গ বলিতে কী বুঝ? কেনেলি-হেভিসাইড স্তর এবং অ্যাপল্টন স্তর কাহাকে বলে? বেতার সংযোগ-ব্যবস্থায় ইহাদের গুরুত্ব কী?

25. নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ:

(i) বেতার-গ্রাহক যন্ত্র, (ii) বেতার-প্রেরক যন্ত্র।



## গাণিতিক প্রশ্নাবলী

26. একটি ভ্যাকুয়াম টিউবে স্বরণসৃষ্টিকারী বিভব-বৈষম্য 180 ভোল্ট। এই টিউবে ইলেকট্রন কী গতিবেগ লাভ করবে?

( সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 )  $[1.87 \times 10^6 \text{ cm/sec}]$

27. 20 বিবর্ধনাঙ্কবিশিষ্ট এবং 10 k $\Omega$  প্রেট-রোধবিশিষ্ট একটি ট্রায়োডের প্রেট-বর্তনীতে 20 k $\Omega$  মানের একটি রোধ যুক্ত রাখাচ্ছে। উক্ত বিবর্ধক-বর্তনীর বিভব-বিবর্ধনের মান কত হইবে? [13.33]

28. একটি ট্রায়োড ভাল্ভে প্রযুক্ত গ্রিড-বিভব এবং প্রেট-বিভব যখন যথাক্রমে  $-2 \text{ V}$  এবং  $150 \text{ V}$  তখন প্রেট-প্রবাহ  $5 \text{ mA}$ । প্রেট-বিভব স্থির রাখিয়া যখন গ্রিড-বিভবকে কমাইয়া  $-3.5 \text{ V}$ -এ আনা হয় তখন প্রেট-প্রবাহ কমিয়া  $3.2 \text{ mA}$  হয়। ট্রায়োড ভাল্ভটির পারস্পরিক পরিবাহিতাঙ্ক (mutual conductance) নির্ণয় কর।  $[1.2 \times 10^{-3} \text{ mho}]$

29. একটি ট্রায়োডের বৈশিষ্ট্য নির্ণয়ের পরীক্ষায় নিম্নের উপাত্তগুলি পাওয়া গেল :

প্রেট-বিভব ( $e_b$ )	200 V	250 V	250 V
গ্রিড-বিভব ( $e_g$ )	-1 V	-1 V	-1.8 V
প্রেট-প্রবাহ ( $i_b$ )	5 mA	9.8 mA	5 mA

এই ভাল্ভটির বিবর্ধনাঙ্ক, প্রেট-রোধ এবং পারস্পরিক পরিবাহিতাঙ্ক নির্ণয় কর।

$[62.5, 10.42 \text{ k}\Omega, 6 \times 10^{-3} \text{ mho}]$



## আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া ও কোয়ান্টাম মতবাদ

*The primordial causes are not known, but they are subjected to laws of simple and varying nature, which can be discovered by observation : the study of these laws is the object of natural philosophy.*

—Fourier

### 3.1 সূচনা

ম্যাক্সওয়েলের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ মতবাদ ঊনবিংশ শতাব্দীর পদার্থবিজ্ঞানের এক বিরাট সাফল্য। ইহার সাহায্যে আলোর নানাদর্শ সুস্পষ্টভাবে ব্যাখ্যা করা সম্ভব হইয়াছে। আলোর ব্যতিচার, অপবর্তন এবং সমবর্তন ধর্ম হইতে বিগত শতাব্দীর বিজ্ঞানীদের নিকট আলোর তরঙ্গধর্ম দৃঢ়ভাবে প্রতিষ্ঠিত হইয়াছিল। কিন্তু ঊনবিংশ শতাব্দীর গোড়ার দিকে বিজ্ঞানীরা এমন কতকগুলি ঘটনার সম্মুখীন হইলেন যাহা ব্যাখ্যা করিতে গিয়া বিজ্ঞানীরা স্বীকার করিয়া লইতে বাধ্য হইলেন যে, শুধু তরঙ্গধর্মই নয়, আলোর কণাধর্মও বর্তমান। আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া (photo-electric effect) এইরূপ একটি ঘটনা।

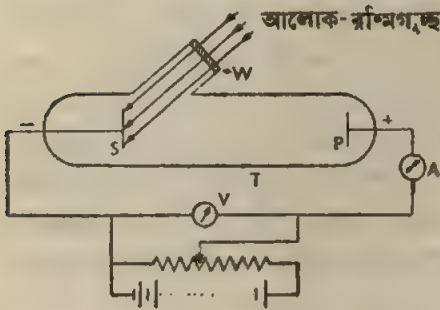
### 3.2 আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার আবিষ্কার

1887 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী হাইনরিখ হার্ৎজ্ (Heinrich Hertz) ম্যাক্সওয়েলের তড়িচ্চুম্বকীয় তত্ত্বের উপর পরীক্ষামূলক গবেষণা করিতেছিলেন। এই সময় তিনি সম্পূর্ণ অপ্রত্যাশিতভাবে একটি ঘটনা লক্ষ্য করেন। তিনি দেখিলেন যে, দুইটি বিপরীতধর্মী তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী স্থানে যদি অতিবেগুনী আলোক-সম্পাত করা যায় তাহা হইলে ঐ তড়িৎদ্বার দুইটির মধ্য দিয়া খুব সহজেই তড়িৎ-স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হয়। এই আবিষ্কারের কথা প্রকাশিত হইবার পর অন্য বিজ্ঞানীরাও এই ঘটনায় উৎসাহিত হইয়া গবেষণা শুরু করেন। 1888 খ্রীষ্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী হালভাখ্‌স্ (Hallwachs) লক্ষ্য করেন যে, একটি পালিশ-করা দস্তা-পাতকে ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করিয়া উহার উপর অতিবেগুনী আলোক রশ্মি ফেলিলে পাতটি দ্রুত উহার আধান হারায়। কিন্তু দস্তা-পাতকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করিয়া উহার উপর অনুরূপ-ভাবে অতিবেগুনী রশ্মি ফেলিলে পাতটি আধান হারায় না। 1887 খ্রীষ্টাব্দে ইলেকট্রন আবিষ্কৃত হইবার পর লেনার্ড (Lenard) দেখাইলেন যে, ধাতব-পাতের

উপর অতিবেগুনী রশ্মি আপতিত হইলে ধাতব পাত হইতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। ইহার পর অলস্টার ও গাইটেল নামক দুইজন বিজ্ঞানী লক্ষ্য করেন যে, সোডিয়াম, পটাসিয়াম, সিজিয়াম ইত্যাদি পদার্থের উপর অতিবেগুনী আলো অপেক্ষা দীর্ঘতর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের দৃশ্যমান আলো (visible light) পড়িলেও ঐ সকল পদার্থ হইতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। আলোর প্রভাবে পদার্থ হইতে এই ঋণাত্মক ইলেকট্রন-কণা নিঃসরণকে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া বলা হয়।

### 3.3 আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া প্রদর্শন

আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া সম্বন্ধে বিস্তারিত পরীক্ষামূলক গবেষণা করেন বিজ্ঞানী লেনার্ড। তাঁহার পরীক্ষা-ব্যবস্থাটি 3.1 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। ইহাতে একটি বায়ুশূন্য কাচের নল (T) থাকে। এই নলের পাশে কোয়ার্টজ-নির্মিত একটি গবাক্ষ (W) থাকে। T-নলের একপ্রান্তে থাকে পরীক্ষাধীন পদার্থের তৈয়ারী একটি প্লেট (S) এবং অপর প্রান্তে থাকে



চিত্র 3.1

ইলেকট্রন-সংগ্রাহক পাত (P)। একটি ব্যাটারীর সাহায্যে P-পাতকে S অপেক্ষা উচ্চতর বিভবে রাখা হয়। কাচের নলটির চারিদিকে কালো রঙ করা থাকে যাহাতে কোন অব্যাহিত আলো (stray light) S-পাতের উপর না পড়ে। গবাক্ষ W-এর মধ্য দিয়া নানা কম্পাঙ্কের আলো S-এর

উপর ফেলা হয়। S হইতে যে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় তাহা P-পাত-কর্তৃক আকৃষ্ট হয়, ফলে বর্তনীতে একটি তড়িৎ-প্রবাহ চলে। বর্তনীর অন্তর্গত মিলি-আমিটার A-এর সাহায্যে এই তড়িৎ-প্রবাহ মাপা হয়।

P-পাতকে S-পাতের সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভবে রাখিয়া আলোর প্রভাবে S-পাত হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলির গতিশক্তি মান নির্ণয় করা যায়। S-পাতের সাপেক্ষে P-পাতের বিভব ঋণাত্মক হইলে উহা S-পাত হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রনকে বিকর্ষণ করে। ফলে যে-সকল ইলেকট্রনের গতিশক্তি এই বিকর্ষণ অতিক্রম করিতে পারে না উহারা S-পাতেই ফিরিয়া যায়। ইহাতে তড়িৎ-প্রবাহের মান হ্রাস পায়। S-পাতের সাপেক্ষে P-পাতের একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম ঋণাত্মক বিভবের ক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহ শূন্য হইবে। এই সময় S-পাত হইতে নিঃসৃত সর্বোচ্চ গতিসম্পন্ন ইলেকট্রনও P-প্লেটে আসিয়া পৌঁছিতে পারে না। S-পাতের সাপেক্ষে P-পাতের এই বিভবকে নিবৃত্তি-বিভব (stopping potential) বলা হয়। নিবৃত্তি-বিভবের মান পদার্থের প্রকৃতি এবং আপতিত আলোর প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।

নিবৃত্তি-বিভবের সহিত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তির সম্পর্ক নির্ণয় করা যায়। মনে করি, S-এর সাপেক্ষে P-পাতের বিভব  $V$ । ইলেকট্রনের আধান  $e$  হইলে S-পাতি হইতে P-পাতে আসিতে ইলেকট্রনকে মোট ষে-কার্য করিতে হইবে তাহার মান

$$W = \text{বিভব-বৈষম্য} \times \text{ইলেকট্রনের আধান} = Ve$$

যে-ইলেকট্রনের গতিশক্তি  $(\frac{1}{2}mv^2)$ -এর মান  $W$  অপেক্ষা বেশি, কেবলমাত্র সেই সকল ইলেকট্রনই P-পাতে পৌঁছিতে পারে। মনে করি, ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ  $= v_{max}$

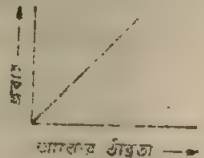
যদি  $eV > \frac{1}{2}mv_{max}^2$  হয় তাহা হইলে S হইতে নিঃসৃত ইলেকট্রন P-পাতে আসিয়া পৌঁছিতে পারে না। কাজেই, নিবৃত্তি-বিভব-এর মান  $V_0$  হইলে লেখা যায়,

$$eV_0 = \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

উপরের পরীক্ষা এবং অন্যান্য অনুরূপ পরীক্ষা হইতে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার যে-বৈশিষ্ট্যগুলি লক্ষ্য করা হইয়াছে নিয়ে সেইগুলির উল্লেখ করা হইল।

(i) S-পাতের উপর আলো পাড়িবার প্রায় সঙ্গে সঙ্গেই ঐ পাত হইতে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। আপতিত আলোর তীব্রতা যাহাই হউক না কেন, আলোর আপতন এবং ইলেকট্রন নিঃসরণের মধ্যে সময়ের ব্যবধান  $10^{-8}$  সেকেন্ড অপেক্ষাও কম হয়।

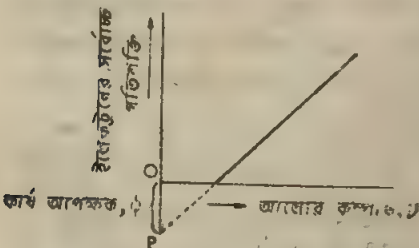
(ii) S-পাত এবং P-পাতের বিভব-বৈষম্য স্থির রাখিয়া S-পাতের উপর আপতিত আলোর তীব্রতা (intensity) বাড়াইলে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সংখ্যা বা তড়িৎ-প্রবাহের মান বৃদ্ধি পাইতে থাকে (চিত্র 3.2)। কিন্তু আপতিত আলোর তীব্রতা-বৃদ্ধিতে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান বৃদ্ধি পায় না।



চিত্র 3.2

(iii) ইহাও দেখা যায় যে, কোন নির্দিষ্ট পদার্থে আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক অপেক্ষা কম হইলে আদৌ কোন ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটে না। কিন্তু ঐ নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক অপেক্ষা বেশি কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলোর অতি ক্ষীণ রশ্মিও উক্ত পদার্থ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণ করিতে সমর্থ হয়। আলোর যে-ন্যূনতম কম্পাঙ্কের নিচে কোন

পদার্থ হইতে আলোকীয় ইলেকট্রন (photo-electron) নিঃসরণ বন্ধ হয় তাহাকে সূচনা-কম্পাঙ্ক (threshold frequency) আখ্যা দেওয়া হয়। বলা বাহুল্য, সূচনা-কম্পাঙ্কের মান ইলেকট্রন-নিঃসরণ পদার্থের উপর নির্ভর করে।



চিত্র 3.3

(iv) পরীক্ষার সাহায্যে ইহাও দেখা গিয়াছে যে, আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক সূচনা-কম্পাঙ্ক হইতে বৃদ্ধি করিতে



থাকিলে নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রন বা আলোকীয় ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান সরলানুপাতে (linearly) বৃদ্ধি পাইতে থাকে (চিত্র 3.3)।

### 3.4 আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া ব্যাখ্যায় তরঙ্গ মতবাদের ব্যর্থতা

যে-সময় আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া আবিষ্কৃত হইয়াছিল সেই সময় পদার্থ-বিজ্ঞানীদের ধারণা ছিল যে, আলো এক প্রকার তরঙ্গ। কিন্তু তাঁহারা দেখিলেন যে, তরঙ্গ মতবাদের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া-সংক্রান্ত ঘটনাগুলির সূচু ব্যাখ্যা করা যায় না। আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া-সংক্রান্ত ঘটনাগুলি-যে আলোর তরঙ্গ মতবাদের পরিপন্থী নিম্নে তাহা ব্যাখ্যা করা হইল।

(i) আপতিত আলোক তরঙ্গ-মুখ (wave-front)-এর অতি ক্ষুদ্র অংশই সূক্ষ্ম ইলেকট্রনের উপর পড়ে। কাজেই, তরঙ্গ মতবাদ অনুসারে আপতিত আলো হইতে প্রয়োজনীয় শক্তি-সংগ্রহ করিয়া ইলেকট্রনকে পদার্থ হইতে বাহির হইয়া আসিতে যথেষ্ট সময় লাগিবে। কিন্তু গরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে, আলোর আপতন এবং ইলেকট্রন-নিঃসরণের মধ্যে কার্যত কোন সময়ের ব্যবধান নাই।

(ii) দেখা গিয়াছে, আলোর তীব্রতা বাহাই হউক না কেন আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক একটি নির্দিষ্ট সূচনা-কম্পাঙ্কের কম হইলে ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটে না। আলোর তরঙ্গ মতবাদ ইহার ব্যাখ্যা দিতে পারে না; কেননা, এই মতবাদ অনুসারে আলোর শক্তি ইহার তীব্রতার উপর নির্ভরশীল, কম্পাঙ্কের উপর নয়।

(iii) তরঙ্গ মতবাদ সূচনা-কম্পাঙ্কের অস্তিত্বও ব্যাখ্যা করিতে পারে না।

বিজ্ঞানী আলবার্ট আইনস্টাইন প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম প্রকল্প (Planck's quantum hypothesis) প্রয়োগ করিয়া আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার সূচু ব্যাখ্যা দেন। ইহা হইতে বুঝা গেল যে, আলো কেবল তরঙ্গধর্মী নয়, ইহার কণাধর্মও রহিয়াছে।

### 3.5 কোয়ান্টাম মতবাদের প্রাথমিক ধারণা (Elementary idea of quantum theory)

পদার্থ কণাধর্মী, কেননা, ইহা পরমাণুর সমষ্টি। বিদ্যুতের প্রকৃতিও অনুরূপ, কেননা, তড়িৎপ্রবাহের একটি ক্ষুদ্রতম একক আছে। এই একক ইলেকট্রনের বা প্রোটনের আধানের সমান। ইহা অপেক্ষা ক্ষুদ্র আধানের আদান-প্রদান সম্ভব নয়।

পূর্বে ধারণা ছিল যে, বিকিরণ তরঙ্গধর্মী। কিন্তু কৃষ্ণ বস্তুর বর্ণালী ব্যাখ্যা করিতে গিয়া বিজ্ঞানী প্লাঙ্ক ইহা ধরিয়া লইতে বাধ্য হইয়াছিলেন যে, বিকিরণের কণাধর্ম (atomicity) রহিয়াছে। তাঁহার মতবাদ অনুসারে তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ নিরবচ্ছিন্ন-ভাবে নিঃসৃত বা শোষিত হয় না, ইহা বিচ্ছিন্ন পুন্ড্রিকা বা কোয়ান্টামের আকারে (in the form of packets or quanta) নিঃসৃত বা শোষিত হয়। প্লাঙ্কের এই মতবাদকে কোয়ান্টাম প্রকল্প (quantum hypothesis) বলা হয়। বিকিরণের প্রতিটি কোয়ান্টামে যে-পরিমাণ শক্তি থাকে তাহা বিকিরণের কম্পাঙ্ক  $\nu$ -এর

সমানুপাতিক। অর্থাৎ,  $\nu$ -কম্পাঙ্কবিশিষ্ট বিকিরণের প্রতিটি কোয়ান্টামের শক্তি

$$E \propto \nu \text{ বা, } E = h\nu \quad \dots (3.1)$$

এখানে  $h$  একটি ধ্রুবক। ইহাকে প্লানকের ধ্রুবক (Plank's constant) বলা হয়। ইহার মান  $6.625 \times 10^{-27}$  erg-sec। কাজেই বলা যায়,  $\nu$ -কম্পাঙ্কবিশিষ্ট বিকিরণ  $h\nu$  শক্তিসম্পন্ন কতকগুলি কোয়ান্টামের সমষ্টিমাত্র।  $\nu$ -কম্পাঙ্কবিশিষ্ট বিকিরণের ন্যূনতম একক  $h\nu$ ; কাজেই  $h\nu$  অপেক্ষা ক্ষুদ্রতম শক্তির আদান-প্রদান সম্ভব নয়। ইহা হইতে বুঝা যাইতেছে যে, প্লানকের কোয়ান্টাম প্রকল্প অনুসারে, পদার্থ এবং বিদ্যুতের ন্যায় বিকিরণও কণাধর্মী।

এক কোয়ান্টাম বিকিরিত শক্তিকে ফোটন (photon) বা আলোক-কণা বলা হয়। কোয়ান্টাম তত্ত্ব-অনুসারে ফোটন-কণার সংখ্যা যত বেশি হইবে বিকিরণের তীব্রতা তত বেশি হইবে।

সনাতন পদার্থবিজ্ঞান (classical physics)-এর সাহায্যে ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয় এইরূপ নানা ঘটনা প্লানকের কোয়ান্টাম মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা সম্ভব হইয়াছে। অ্যালবার্ট আইনস্টাইন এই মতবাদের ভিত্তিতে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া (photo-electric effect) ব্যাখ্যা করেন। বিজ্ঞানী নীলস বোর কোয়ান্টাম মতবাদের সাহায্যে হাইড্রোজেন-বর্ণালীর সূঁচ ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হন। এই সকল সাফল্যের ফলে বর্তমানে কোয়ান্টাম মতবাদের সত্যতা সম্বন্ধে বিজ্ঞানীরা নিঃসন্দেহ হইয়াছেন।

### 3.6 আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা

বিজ্ঞানী আইনস্টাইন কোয়ান্টাম মতবাদের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার সূঁচ ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হইয়াছিলেন। তাঁহার ব্যাখ্যা নিম্নরূপ :

কোন ধাতব পদার্থের উপর আলোক-সম্পাত ঘটিলে আপতিত কতকগুলি ফোটনের সহিত ধাতুর মধ্যবর্তী কতকগুলি ইলেকট্রনের সংঘাত (collision) হয়। এই সংঘাতের সময় ইলেকট্রনগুলি উহাদের উপর আপতিত ফোটনের শক্তি সম্পূর্ণভাবে শোষণ করিয়া লয়। ফোটনের শক্তি ধাতুপৃষ্ঠে অবস্থিত ইলেকট্রনের বন্ধনশক্তি অপেক্ষা বেশি হইলে এই সংঘাত-প্রক্রিয়ায় ধাতু হইতে ইলেকট্রন নিঃসৃত হইতে পারে। স্পষ্টতই, নিঃসৃত ইলেকট্রনের গতিশক্তি হইবে শোষিত শক্তি  $h\nu$  এবং বন্ধনশক্তি  $\omega$ -এর অন্তরফলের সমান।

অর্থাৎ, নিঃসৃত ইলেকট্রনের গতিশক্তি,  $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - \omega$

ধাতুতে আবদ্ধ ইলেকট্রনগুলির বিভিন্ন পরিমাণ বন্ধনশক্তি থাকিতে পারে। এই বন্ধনশক্তি ন্যূনতম হইলে নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলির শক্তি সর্বোচ্চ হইবে। যদি এই

ন্যূনতম বন্ধনশক্তি  $\phi$  ( $\omega$ -এর ন্যূনতম মান) হয়, তাহা হইলে নিঃসৃত ইলেকট্রনের গতিশক্তির মান সর্বোচ্চ হইবে।

অর্থাৎ, নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি,

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = h\nu - \phi \quad \dots (3.2)$$

বন্ধনশক্তির ন্যূনতম মান  $\phi$ -কে কার্য-অপেক্ষক (work function) বলা হয়।

3.2 নং সমীকরণটি আইনস্টাইনের আলোক-তড়িৎ সমীকরণ (Einstein's photo-electric equation) নামে পরিচিত। এই সমীকরণের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়।

(i)  $\phi$  অপেক্ষা অধিক শক্তিসম্পন্ন ফোটনের সহিত সংঘাত হইলে ইলেকট্রনটি সঙ্গে সঙ্গে ফোটনের সমস্ত শক্তি শোষণ করিয়া লয় এবং ধাতু হইতে বাহির হইয়া আসে। ফলে আলোর আপতন এবং ইলেকট্রন নিঃসরণের মধ্যে কার্যত কোন সময়ের ব্যবধান থাকে না।

(ii) আপতিত ফোটনের শক্তি ( $h\nu$ ) ইলেকট্রনের ন্যূনতম বন্ধনশক্তি  $\phi$  অপেক্ষা বেশি না হইলে যতক্ষণ ধরিয়াই আলোক-সম্পাত করা হউক না কেন, ধাতু হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটে না। যে-সর্বনিম্ন কম্পাঙ্কে ইলেকট্রন নিঃসরণ শুরু হয় সেই কম্পাঙ্ক  $\nu_0$  হইলে লেখা যায়,

$$h\nu_0 = \phi \text{ বা, } \nu_0 = \phi/h \quad \dots (3.3)$$

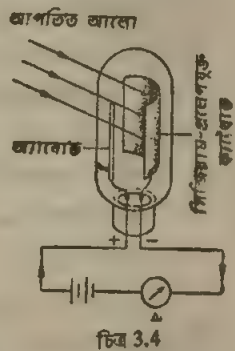
ইহার সূচনা-কম্পাঙ্ক (threshold frequency)। কোন ধাতব পদার্থের কার্য অপেক্ষক  $\phi$ -এর মান নির্দিষ্ট বলিয়া এবং  $h$  একটি ধ্রুবক বলিয়া কোন পদার্থের সূচনা-কম্পাঙ্কের মান নির্দিষ্ট।

(iii) 3.2 নং সমীকরণ হইতে দেখা যাইতেছে যে, ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি ( $\frac{1}{2}mv_{max}^2$ ) এবং আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক  $\nu$ -এর সম্পর্কটি লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করিলে একটি সরলরেখা পাওয়া যাইবে। ইহা  $\nu$ -অক্ষকে যে-বিন্দুতে ছেদ করিবে তাহাই সূচনা-কম্পাঙ্ক  $\nu_0$ । সরলরেখাটিকে বর্ধিত করিলে উহা গতিশক্তি-অক্ষকে P-বিন্দুতে ছেদ করিলে  $OP = \phi$  হইবে (চিত্র 3.3)।

### 3.7 আলোক-তড়িৎ-কোষ (Photo-electric cell)

যে-ব্যবস্থার সাহায্যে আলোক-শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয় তাহাকে আলোক-তড়িৎ-কোষ বলা হয়। আলোক-তড়িৎ-কোষ নানাবিধ হইতে পারে, তবে আমরা কেবলমাত্র আলোক-তড়িৎ নিঃসরণ কোষ (photo-emission cell) লইয়াই আলোচনা করিব। নিঃসরণ কোষ প্রধানত দুই প্রকার, ইহা—(i) বায়ুশূন্য কোষ (vacuum cell) এবং (ii) গ্যাসপূর্ণ কোষ (gas-filled cell)।

(i) **বায়ুশূন্য কোষ :** এই কোষে একটি কাচের বা কোয়ার্টজের বাল্ব থাকে। ইহার মধ্যবর্তী বায়ুর চাপ প্রায়  $10^{-5}$  মিলিমিটার পারদস্তম্ভের চাপের সমান। যে-কোষে দৃশ্যমান আলো ব্যবহৃত হয় সেই সকল কোষের বাল্ব সাধারণত কাচের তৈয়ারী এবং যে-সকল কোষে অতিবেগুনী রশ্মি ব্যবহৃত হয় সেই সকল কোষের বাল্ব সাধারণত কোয়ার্টজের তৈয়ারী, কেননা, সাধারণত কাচ অতিবেগুনী রশ্মি শোষণ করিয়া লয়। বাল্বের মধ্যে একটি আলোক-সুবেদী (light sensitive) ধাতুর প্রলেপযুক্ত ধাতব পাত থাকে। ইহা কোষের ক্যাথোডের ন্যায় ক্রিয়া করে। সাধারণত রূপার পাতের উপর সোডিয়াম, পটাসিয়াম বা সিজিয়ামের প্রলেপ দিয়া এই আলোক-সুবেদী ক্যাথোডটি তৈয়ারী করা হয়। কোন কোন কোষে ক্যাথোডটিকে অর্ধ-বেলুনাকার করিয়া একটি দণ্ডাকার ধাতব তারকে উহার অক্ষে স্থাপন করা হয় (চিত্র 3.4)। এই ধাতব দণ্ডটি কোষের অ্যানোডের ন্যায় ক্রিয়া করে।



একটি ব্যাটারীর সাহায্যে অ্যানোডকে ক্যাথোডের সাপেক্ষে উচ্চতর বিভবে রাখিবার ব্যবস্থা করা হয়। এই অবস্থায় ক্যাথোডের উপর আলো পড়িলে উহা হইতে যে-ফোটো-ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় তাহা অ্যানোড-কর্তৃক আকৃষ্ট হইয়া অ্যানোডে সংগৃহীত হয় এবং বর্তনীতে একটি অ্যাম্পিটার রাখিলে উহাতে বিক্ষেপ সৃষ্টি করে।

বায়ুশূন্য কোষের ক্যাথোডে আলোক-সম্পাত ঘটিলে বর্তনীতে যে-তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হয় তাহা ক্যাথোডে আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক।

(ii) **গ্যাসপূর্ণ কোষ :** গ্যাসপূর্ণ কোষেও একটি আলোক-সুবেদী ক্যাথোড এবং একটি অ্যানোড থাকে। এই কোষের বাল্বে সাধারণত 0.1 হইতে 1 মিলিমিটার পারদস্তম্ভের চাপে কোন নিষ্ক্রিয় গ্যাস ভরা থাকে। বায়ুশূন্য কোষ অপেক্ষা এই আলোক-তড়িৎ-কোষে অধিক পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন হয়। ইহার কারণ নিম্নে ব্যাখ্যা করা হইল।

ক্যাথোডে আলো পড়িলে যে-সকল ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় উহার অ্যানোডের আকর্ষণে যথেষ্ট পরিমাণ গতিশক্তি লাভ করে। এই সকল ইলেকট্রনের সহিত সংঘাতের ফলে বাল্বের আভ্যন্তরীণ গ্যাস আয়নিত হয়। ইহাতে বর্তনীর প্রবাহের মান বাড়িয়া যায়। এই কোষের তড়িৎ-প্রবাহের মান বেশি হয় কিন্তু এই তড়িৎ-প্রবাহ ক্যাথোডে আপতিত আলোকের তীব্রতার সমানুপাতিক হয় না।

### 3.8 আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যবহার

আলোক-তড়িৎ-কোষকে 'ম্যাজিক চোখ' (magic eye) বা 'বৈদ্যুতিক-চোখ' (electric eye) বলা হয়। ইহার ক্রিয়া অনেকটা চোখের ন্যায়। চোখ যেমন



আলোক-সম্পাতে সাড়া দেয়, আলোক-তড়িৎ-কোষও তেমনি আলোক-সম্পাতে সাড়া দেয়। মানুষের চোখ যে-আলোতে সাড়া দেয় না আলোক-তড়িৎ-কোষ সেই আলোতেও সাড়া দিতে পারে। শিল্পে ও বৈজ্ঞানিক নানা কাজে আলোক-তড়িৎ-কোষের নানাব্যবহার আছে। নিম্নে উহাদের কয়েকটির উল্লেখ করা হইল :

(i) আলোক-তড়িৎ-প্রবাহ বহু স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের নিয়ন্ত্রকরূপে ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রের সাহায্যে একটি রিলে (relay) ক্রিয়াশীল করিয়া রাস্তার আলো জ্বলাইবার এবং বিদ্যুতের স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থা করা যায়। এই ব্যবস্থায় রাস্তা অন্ধকার হইলে আলো জ্বলিয়া উঠে এবং দিনের আলো ফুটিলে আপনা হইতেই রাস্তার আলো নিবন্ধা যায়।

(ii) সবাক চলচ্চিত্রে সাউণ্ড ট্র্যাক হইতে শব্দের প্রত্যুৎপাদনের জন্য আলোক-তড়িৎ-কোষের ব্যবহার রহিয়াছে।

(iii) আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার অপর একটি ব্যবহার টেলিভিশন যন্ত্র। আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার সাহায্যেই দৃশ্যকে চিত্র-সংকেত (video signal)-এ রূপান্তরিত করিয়া দূরবর্তী স্থানে প্রেরণ করা সম্ভব হয়।

(iv) কোন উৎসের দীপন-প্রাবল্য পরিমাপে, বহুবর্ণী আলোর বর্ণালী বিশ্লেষণে আলোক-তড়িৎ-কোষ ব্যবহৃত হয়। আধুনিক বর্ণমাপক (colorimeter) যন্ত্রেও আলোক-তড়িৎ-কোষ ব্যবহৃত হইতেছে।

(v) আলোক-তড়িৎ-কোষের একটি উল্লেখযোগ্য ব্যবহারিক প্রয়োগ রহিয়াছে ফটো-টেলিগ্রাফি (photo-telegraphy) ব্যবস্থায়। এই ব্যবস্থায় অতি অল্প সময়ে এক স্থান হইতে অন্য স্থানে চিত্র বা সংবাদ প্রেরণ করা যায়। এই ব্যবস্থার সাহায্যেই বর্তমানে বিভিন্ন দেশের সংবাদপত্র বিভাগ অতি অল্প সময়ের মধ্যে দূরবর্তী স্থানের সংবাদ ও চিত্র সংগ্রহ করিতে সমর্থ হইতেছে।

আলোক-তড়িৎ-কোষের অন্যান্য প্রয়োগের মধ্যে অগ্নি-সংকেত (fire-alarm) বা তরঙ্গ-সংকেত (Burglar-alarm) ব্যবস্থা, কোন মেশিন-কর্তৃক নির্মিত সামগ্রী গণনার স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থা ইত্যাদি উল্লেখযোগ্য।

### • সমাজানুসঙ্গ গাণিতিক প্রমাণনী •

উদাহরণ 3.1  $10^{-8}$  cm তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এক্স-রশ্মির একটি ফোটনের শক্তি কত? দেওয়া আছে যে, প্লাঙ্কের ধ্রুবক,  $h = 6.62 \times 10^{-27}$  erg-sec, আলোর বেগ,  $c = 3 \times 10^{10}$  cm/sec।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1984 ]

সমাধান :  $\nu$  কম্পাঙ্কবিশিষ্ট ফোটনের শক্তি,  $E = h\nu$

... (i)

এখানে  $h$  = প্লাঙ্কের ধ্রুবক।

আবার, আলোর বেগ,  $c = \nu\lambda$

... (ii)

এখানে  $\lambda$  = তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য

(i) এবং (ii) হইতে পাই,  $E = \frac{hc}{\lambda}$

এখানে,  $h = 6.62 \times 10^{-27}$  erg-sec,  $c = 3 \times 10^{10}$  cm/sec

এবং  $\lambda = 10^{-8}$  cm

$$\therefore E = \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{10^{-8}} \text{ erg}$$

$$= 19.89 \times 10^{-2} \text{ erg}$$

আমরা জানি,  $1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-12}$  erg

$\therefore$  ইলেকট্রন-ভোল্ট এককে এক্স-রশ্মির একটি ফোটনের শক্তি,

$$E = \frac{19.89 \times 10^{-2}}{1.6 \times 10^{-12}} \text{ ev} = 12.4 \times 10^8 \text{ ev}$$

**উদাহরণ 3.2**  $7.5 \times 10^{14}$  Hz কম্পাঙ্কের বিকিরণ কোন ধাতুপৃষ্ঠে আপতিত হইলে সর্বোচ্চ  $1.6 \times 10^{-19}$  জুল শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। ঐ ধাতুপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য সর্বনিম্ন কত কম্পাঙ্কের বিকিরণ প্রয়োজন হয়? প্রাক্টের ধ্রুবক,  $h = 6.62 \times 10^{-27}$  erg-sec। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1986 ]

**সমাধান :** আমরা জানি যে, আপতিত ফটো-কণার কম্পাঙ্ক  $\nu$  হইলে

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_{max}^2 + \phi_0 \quad \dots (i)$$

এখানে  $\frac{1}{2}mv_{max}^2$  = ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি ;  $h$  = প্রাক্টের ধ্রুবক

এবং  $\phi_0$  = কার্শ-অপেক্ষক।

এখানে,  $h = 6.62 \times 10^{-27}$  erg-sec

$$\nu = 7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

(i) হইতে পাই,  $6.62 \times 10^{-27} \times 7.5 \times 10^{14} = 1.6 \times 10^{-12} + \phi_0$

বা,  $\phi_0 = 49.65 \times 10^{-12} - 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg} = 48.05 \times 10^{-12} \text{ erg}$

যে সর্বনিম্ন কম্পাঙ্ক আলোচ্য ধাতুপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণ হইতে পারে ( সূচনা-কম্পাঙ্ক ) এক্ষেত্রে তাহার মান  $\nu_0$  হইলে লেখা যায়,

$$\phi_0 = h\nu_0$$

$$\therefore \nu_0 = \frac{\phi_0}{h} = \frac{48.05 \times 10^{-12} \text{ erg}}{6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}} = 0.726 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

**উদাহরণ 3.3** একটি ফোটনের শক্তি 2.5 ev হইলে নিম্নের উপাত্তগুলি হইতে ইহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ইলেকট্রনের তড়িৎধান =  $4.809 \times 10^{-10}$  e. s. u., আলোর গতিবেগ,  $c = 3 \times 10^{10}$  cm/sec ; প্রাক্ট-ধ্রুবক,  $h = 6.62 \times 10^{-27}$  erg-sec।

সমাধান :  $1 \text{ ev} = 4.809 \times 10^{-10} \times \frac{1}{3.6 \times 10^9} = 1.603 \times 10^{-12} \text{ erg}$

সুতরাং ঐ ফোটনের শক্তি,  $E = 2.5 \times 1.603 \times 10^{-12} \text{ erg}$

আমরা জানি,  $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ ,  $\lambda =$  নির্ণেয় তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য

$$\therefore 2.5 \times 1.603 \times 10^{-12} = \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{\lambda}$$

বা  $\lambda = 4955.8 \times 10^{-8} \text{ cm} = 4955.8 \text{ \AA}$

**উদাহরণ 3.4** সোডিয়ামের সূচনা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য  $7000 \text{ \AA}$  হইলে উহার কার্য-অপেক্ষকের মান নির্ণয় কর। প্রাক্কর ধ্রুবক,  $h = 6.625 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$

( $1 \text{ ev} = 1.603 \times 10^{-12} \text{ erg}$ , আলোর গতিবেগ,  $c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$ )

সমাধান : আমরা জানি, কার্য-অপেক্ষক  $\phi = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$

$\lambda =$  সূচনা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (threshold wavelength)  $= 7000 \times 10^{-8} \text{ cm}$

$$\phi_0 = \frac{6.625 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{7000 \times 10^{-8} \times 1.603 \times 10^{-12}} = 1.77 \text{ ev (প্রায়)}$$

**উদাহরণ 3.5** কোন ধাতব-পৃষ্ঠে  $3000 \text{ \AA}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট অতিবেগুনী রশ্মি আপতিত হইলে ষে-ফটো-ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় তাহার সর্বোচ্চ গতিশক্তি  $0.5 \text{ ev}$  হইলে কার্য-অপেক্ষক এবং সূচনা-কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। ( $1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$ )।

সমাধান : আমরা জানি, ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি  $\frac{1}{2}mv_{max}^2$   
 $= h\nu - \phi_0 = 0.5 \text{ ev} \dots (i)$

বা,  $\phi_0 = h\nu - \frac{1}{2}mv_{max}^2 \dots (ii)$

এখানে,  $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{10}}{3000 \times 10^{-8}} = 10^{15} / \text{sec}$

$$\therefore h\nu = 6.625 \times 10^{-27} \times 10^{15} \text{ erg} = \frac{6.625 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-12}} \text{ ev} = 4.13 \text{ ev}$$

$\phi_0 = 4.13 - 0.5 \quad [ \text{সমীকরণ (i) এবং (ii) হইতে} ]$   
 $= 3.63 \text{ ev}$

$$\therefore \text{সূচনা-কম্পাঙ্ক, } \nu_0 = \frac{3.63 \times 1.6 \times 10^{-12}}{6.625 \times 10^{-27}} = 0.878 \times 10^{15} / \text{sec}$$

**উদাহরণ 3.6** টাংস্ট্যানের আলোক-ভাঁড়িং প্রক্রিয়া-সংক্রান্ত সূচনা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য  $2300 \text{ \AA}$ । প্রাক্কর ধ্রুবকের মান  $6.6 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$  হইলে টাংস্ট্যানের উপর  $1800 \text{ \AA}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অতিবেগুনী আলোক-রশ্মি ফেলিলে নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রনের গতিশক্তির সর্বোচ্চ মান কত হইবে? দেওয়া আছে যে,  $1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$ ।

সমাধান : আমরা জানি যে, ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি,  $\frac{1}{2}mv_{max}^2$   
 $= h(\nu - \nu_0)$  [ সমীকরণ (3.4) হইতে ]

এখানে,  $\nu$  = আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক,  $\nu_0$  = সূচনা-কম্পাঙ্ক  
 এবং  $h$  = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক

আলোর গতিবেগ  $c$  হইলে লেখা যায়,  $\frac{1}{2}mv_{max}^2 = hc \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$

এখানে,  $\lambda$  = আপতিত আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এবং  $\lambda_0$  = টাংস্ট্যানের সূচনা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য

এখন,  $h = 6.6 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$

$\lambda_0 = 1800 \text{ \AA} = 1800 \times 10^{-8} \text{ cm} = 18 \times 10^{-6} \text{ cm}$

$\lambda_0 = 2300 \text{ \AA} = 2300 \times 10^{-8} = 23 \times 10^{-6} \text{ cm}$

এবং  $c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$

কাজেই, নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = 6.6 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10} \times \left( \frac{10^6}{18} - \frac{10^6}{23} \right)$$

$$= \frac{6.6 \times 3 \times 5 \times 10^{-11}}{18 \times 13} \text{ erg} = \frac{6.6 \times 3 \times 5 \times 10^{-11}}{18 \times 13 \times 1.6 \times 10^{-12}} \text{ ev} = 2.64 \text{ ev}$$

### সার-সংক্ষেপ

কোন ধাতুপৃষ্ঠে উপযুক্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো বা তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ আপতিত হইলে উই হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটিতে দেখা যায়। এই প্রক্রিয়াকে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া বলা হয় এবং এই প্রক্রিয়ার নিগত ইলেকট্রনকে ফটো-ইলেকট্রন বলা হয়।

আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার নিম্নোক্ত বৈশিষ্ট্যগুলি বিশেষভাবে লক্ষণীয় :

(i) আলোর আপতন এবং ধাতুপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণের মধ্যে কার্যত কোন সময়ের ব্যবধান নাই।

(ii) আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক সূচনা-কম্পাঙ্কের কম হইলে আলোর তীব্রতা বাড়াইলেও ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটে না।

(iii) আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক স্থির বলিয়া আলোর তীব্রতা বাড়াইলেও নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান বাড়ান যায় না।

আলোর তরঙ্গ মতবাদ হইতে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার উপরি-উক্ত বৈশিষ্ট্যগুলির ব্যাখ্যা পাওয়া যায় না। বিজ্ঞানী আইনস্টাইন প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম মতবাদের ভিত্তিতে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা দেন। তিনি এই অভিমত ব্যক্ত করেন যে, আপতিত ফোটন কণার শক্তির একাংশ ব্যয়িত হয় ধাতুপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রনকে মুক্ত করিতে এবং অন্য অংশ ব্যয়িত হয় ইলেকট্রনকে গতিশক্তি যোগাইতে। ইলেকট্রনকে



মুক্ত করিতে যে-শক্তি প্রয়োজন তাহাকে 'বন্ধনশক্তি' আখ্যা দিলে নিঃসৃত ইলেকট্রনের গতিশক্তি ফোটনের শক্তি  $h\nu$  এবং বন্ধনশক্তি  $\omega$ -এর অন্তরফলের সমান। অর্থাৎ,

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - \omega$$

$\omega$ -এর মান ন্যূনতম হইলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি সর্বোচ্চ হইবে।  $\omega$ -এর ন্যূনতম মানকে বলা হয় ধাতুপৃষ্ঠের কার্শ-অপেক্ষক। ইহাকে  $\phi$  অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হয়। কাজেই দেখা যায়,

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = h\nu - \phi$$

আলোচ্য ধাতুপৃষ্ঠের সূচনা-কম্পাঙ্ক  $\nu_0$  হইলে লেখা যায়,  $\phi = h\nu_0$

$$\text{বা, } \nu_0 = \frac{\phi}{h}$$

ষে-ব্যবস্থার সাহায্যে আলোক-শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায় তাহাকে আলোক-তড়িৎ কোষ বলা হয়। আলোক-তড়িৎ কোষ দুই প্রকার : (i) বায়ুশূন্য কোষ এবং (ii) গ্যাসপূর্ণ কোষ।

আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার নিম্নোক্ত ব্যবহারগুলি উল্লেখযোগ্য :

- (i) স্বয়ংক্রিয় নিয়ন্ত্রণ-ব্যবস্থায় আলোক-তড়িৎ কোষের ব্যবহার আছে।
- (ii) সবাক চলাচলে সাউণ্ড ট্র্যাকে রেকর্ড-করা শব্দের পুনরুদ্ধারে আলোক-তড়িৎ কোষ ব্যবহৃত হয়।
- (iii) টেলিভিসন যন্ত্রে দৃশ্যকে চিত্র-সঙ্কেতে (video signal) রূপান্তরের জন্য আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া কাজে লাগানো হয়।
- (iv) ফটো-টেলিগ্রাফিতে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া ব্যবহৃত হয়।
- (v) অগ্নি-সঙ্কেত, তন্তুর-সঙ্কেত ইত্যাদি ব্যবস্থায় আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যবহার আছে।

### প্রশ্নমালা 3

#### ব্রহ্মোত্তর প্রশ্নাবলী

1. 'এক্স-রশ্মি উৎপাদন এবং ফটো-তড়িৎ প্রক্রিয়ার সাহায্যে ইলেকট্রন উৎপাদন পরস্পর বিপরীত ক্রিয়া।' এই উক্তিটি সম্পর্কে মন্তব্য কর।
2. আলো ফেলিষা ইলেকট্রন উৎপাদনের ক্ষেত্রে টাংস্টেন অপেক্ষা সিজিয়াম অনেক বেশি কার্যকরী। ইহার কারণ কী?
3. আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ায় আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক স্থির রাখিয়া উহার তীব্রতা বাড়াইলে নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রনের গতিশক্তির সর্বোচ্চ মান বদলায় না, তবে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। আ ইনস্টাইন এই ঘটনার কী ব্যাখ্যা দিয়াছিলেন?
4. আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ায় প্রতিটি ধাতুপৃষ্ঠের ক্ষেত্রে একটি সূচনা-কম্পাঙ্ক পাওয়া যায়। আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক ইহার কম হইলে আলো যত তীব্র হউক, ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটে না। এ পরীক্ষালব্ধ সত্যের ব্যাখ্যা কী?

5. আলোক-সুবেদী খাতপৃষ্ঠে আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক দ্বিগুণিত করিলে নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তিও দ্বিগুণিত হইবে কি? যুক্তিসহ উত্তর দাও।
6. আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার আলোর দ্বারা খাতপৃষ্ঠ হইতে যে-ফটো-ইলেকট্রনগুলি নিঃসৃত হয় উহাদের গতিশক্তির সর্বোচ্চ মান কিসের উপর নির্ভর করে? ব্যাখ্যা কর।
7. আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া-সংক্রান্ত একটি ঘটনার উল্লেখ করিয়া দেখাও যে, এই প্রক্রিয়া আলোর তরঙ্গ মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায় না।

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

8. (a) আলোক তড়িৎ প্রক্রিয়া বলিতে কী বুঝ? এই প্রক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1978, 1982 ] (b) আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার মূল তথ্যগুলি কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্যে কীরূপে ব্যাখ্যা করা যায়. বুঝাইয়া বল।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1978 ]

9. আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া কী? ফটো-ইলেকট্রন কাহাকে বলে? সূচনা-কম্পাঙ্কের অস্তিত্ব কি তরঙ্গ-তত্ত্বের পরিবর্তে ফোটন-তত্ত্বের সত্যতা সমর্থন করে?

আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার একটি ব্যবহারের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]

10. আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া কাহাকে বলে? সূচনা-কম্পাঙ্ক বলিতে কী বুঝ ব্যাখ্যা কর। আলোক-তড়িৎ-কোষের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। ( সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1979 )

11. (a) আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া কী? (b) কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া ব্যাখ্যা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1979 ]

12. তরঙ্গ মতবাদের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া-সংক্রান্ত যে-সকল ঘটনার ব্যাখ্যা করা যায় না সেই সকল ঘটনা উল্লেখ কর। আইনস্টাইন কীরূপে ইহার ব্যাখ্যা দিলেন?

13. আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া এবং ফটো-ইলেকট্রন বলিতে কী বুঝ? ফটো-ইলেকট্রন নিঃসরণ কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্যে কীরূপে ব্যাখ্যা করা যায়?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1980 ]

14. আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়াটি কী? 'যখন আপতিত ফোটনের শক্তি বন্ধনশক্তি অপেক্ষা বেশি হইবে তখনই ফটো-ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়।'—উক্তিটি আলোচনা কর।

আলোক-তড়িৎ কোষ কাহাকে বলে? ইহার কয়েকটি ব্যবহারের উল্লেখ কর।

( সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1979 )

15. (a) প্রাকের প্রকম্পটি কী? ফোটন কাহাকে বলে? কোয়ান্টাম মতবাদের সাহায্যে কীরূপে আলোক তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা করা যায়?

- (b) আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া সম্পর্কিত আইনস্টাইনের সমীকরণটি লিখ এবং ব্যাখ্যা কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1986 ]

16. একটি আলোক-তড়িৎ-কোষের বর্ণনা দাও এবং ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার ব্যবহার সম্বন্ধে যাহা জ্ঞান লিখ।

17. (i) আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়াটি কী?

- (ii) আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়া সম্পর্কে আইনস্টাইনের সমীকরণ ব্যাখ্যা কর।

[ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1986 ]

গাণিতিক প্রস্রাবনী

18. টাংস্ট্যানের সূচনা-কম্পাঙ্ক  $2300 \text{ \AA}$ । টাংস্ট্যানের পৃষ্ঠতল হইতে  $1800 \text{ \AA}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সাহায্যে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ নির্ণয় কর।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1979 ]  $[7.29 \times 10^7 \text{ cm/s}]$

19. একটি ফোটনের শক্তির পরিমাণ  $2.5$  ইলেকট্রন-ভোল্ট। নিম্নের উপাত্তগুলি হইতে ইহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

$1 \text{ volt} = \frac{1}{300} \text{ e.s.u.}$ ; ইলেকট্রনের আধান  $= 4.809 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.}$  এবং প্রাক্টের ধ্রুবক  $= 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$  [4955.7 \text{ \AA}]

20. নিম্নের উপাত্তগুলি ব্যবহার করিয়া ইলেকট্রন-ভোল্ট এককে সোডিয়ামের কার্য-অপেক্ষক নির্ণয় কর।

সূচনা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য  $= 7000 \text{ \AA}$ , প্রাক্টের ধ্রুবক,  $h = 6.625 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$

$1 \text{ V} = \frac{1}{300} \text{ e.s.u.}$  এবং ইলেকট্রনের আধান  $= 4.809 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.}$

[1.771 ev]

21. ইলেকট্রন-ভোল্ট এককে  $4950 \text{ \AA}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট ফোটনের শক্তি নির্ণয় কর।

[ জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1981 ]  $[2.51 \text{ ev}]$

22. টাংস্ট্যানের সূচনা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য  $2300 \text{ \AA}$ । টাংস্ট্যানের পৃষ্ঠতল হইতে  $1800 \text{ \AA}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অতিবেগুনী আলোর সাহায্যে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ নির্ণয় কর। ইলেকট্রনের ভর  $= 9 \times 10^{-28} \text{ gm}$ ।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1979 ]

$[9.65 \times 10^7 \text{ cm/sec}]$

23. সিজিয়ামের কার্য-অপেক্ষক  $1.35$  ইলেকট্রন-ভোল্ট। সিজিয়ামের সূচনা-কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। ধরিয়া লও যে,  $h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$ ।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( দ্বিতীয়া ), 1984 ]  $[3.27 \times 10^{14} \text{ Hz}]$

24. কোন ধাতুর আলোক-তড়িৎ প্রক্রিয়ার সূচনা-তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য  $3800 \text{ \AA}$ । এই ধাতু হইতে  $2000 \text{ \AA}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট অতিবেগুনী আলোর দ্বারা নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় কর। ( দেওয়া আছে যে, প্রাক্টের ধ্রুবক,  $h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$  )

[2.94 ev]

25. একটি ধাতব তলে  $7 \times 10^8 \text{ GHz}$  (গিগাহার্টজ) কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলো পড়িলে উহা হইতে  $6 \times 10^7 \text{ cm/s}$  সর্বোচ্চ দ্রুতিসম্পন্ন ফটো-ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। ঐ তলের সূচনা-কম্পাঙ্ক কত? ইলেকট্রনের ভর,  $m = 9.11 \times 10^{-28} \text{ gm}$  এবং প্রাক্টের ধ্রুবক  $= 6.6 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$ ।

[4.52  $\times 10^8 \text{ GHz}$ ]

26. দস্তার কার্য-অপেক্ষক  $3.6 \text{ ev}$ । দস্তার আলোক-বৈদ্যুতিক সূচনা-কম্পাঙ্ক  $9 \times 10^{14} \text{ Hz}$  হইলে প্রাক্টের ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর। দেওয়া আছে যে,  $1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$ ।

[6.4  $\times 10^{-27} \text{ erg-sec}$ ]

**অটিলতর গাণিতিক প্রমাণসী:**

27. একটি আলোক-বৈদ্যুতিক কোষে আলোক-সুবেদী উপাদানরূপে সিজিয়াম ব্যবহৃত হইয়াছে। উহাকে  $4.2 \times 10^{-7} \text{ m}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলোর দ্বারা আলোকিত করা হইল। কোষটিতে যে-বিবন্ধ বিভব প্রয়োগ করিলে ইলেকট্রন-নিঃসরণ বন্ধ হইবে তাহার মান নির্ণয় কর। (প্রাণ্ডের ধ্রুবক,  $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J-sec}$ , আলোর বেগ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ ; ইলেকট্রনের আধান  $= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  এবং সিজিয়ামের কার্ভ-অপেক্ষক  $= 1.90 \text{ eV}$ )

[1.06 v]

28. ফটো-ইলেকট্রন নিঃসরণ-সংক্রান্ত কোন পরীক্ষায় দেখা গেল যে, একটি ধাতব তলে  $4.5 \times 10^{-7} \text{ m}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট বিকিরণ আপতিত হইলে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি হয়  $0.42 \times 10^{-19} \text{ J}$ ; কিন্তু  $3.0 \times 10^{-7} \text{ m}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট বিকিরণ ব্যবহার করা হইলে সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান হয়  $2.63 \times 10^{-19} \text{ J}$ । এই সকল উপাত্ত হইতে প্রাণ্ডের ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর।

[ $6.63 \times 10^{-34} \text{ J-sec}$ ]

29. ন্যূনতম আলোক-বৈদ্যুতিক সূচনা-তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $3500 \text{ Å}$  হইলে এবং ইহার উপর  $2000 \text{ Å}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অতিবেগুনী রশ্মি আপতিত হইলে (i) নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি, (ii) ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ এবং (iii) জুল এককে ন্যূনতম কার্ভ-অপেক্ষকের মান নির্ণয় কর।

[ $2.66 \text{ eV}$ ,  $9.66 \times 10^7 \text{ cm/sec}$ ,  $9.93 \times 10^{-19} \text{ J}$ ]

30.  $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$  কম্পাঙ্কের আলো কোন ধাতব তল হইতে  $2.31 \times 10^{-19} \text{ J}$  শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন মুক্ত করে। যে-অতিবেগুনী আলো একই ধাতব তল হইতে  $8.93 \times 10^{-19} \text{ J}$  শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন মুক্ত করে উহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত? ধরিয়া লও যে, আলোর বেগ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  এবং প্রাণ্ডের ধ্রুবক  $6.62 \times 10^{-34} \text{ J-sec}$ ।

[লন্ডন বিশ্ববিদ্যালয়] [ $2.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ ]

31. সিজিয়ামের কার্ভ-অপেক্ষকের মান  $1.35 \text{ eV}$  ইলেকট্রন-ভোল্ট। (i) সর্বোচ্চ কী তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের বিকিরণ সিজিয়ামের তল হইলে আলোক-বৈদ্যুতিক নিঃসরণ ঘটাইতে সমর্থ হইবে?  $4.0 \times 10^{-7} \text{ m}$  তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলোর দ্বারা আলোকিত সিজিয়ামের তল হইতে নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ কত? ( $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$  এবং  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J-sec}$ )

[ $9 \times 10^{-7} \text{ m}$ ,  $7.9 \times 10^5 \text{ m/s}$ ]





## পরমাণুর গঠন ও পরমাণবিক ভর

*Rutherford's model of the atom puts before us a task reminiscent of the old dream of philosophers, to reduce the interpretation of the laws of nature to the consideration of pure numbers.*

—Niels Bohr

### 4.1 সূচনা

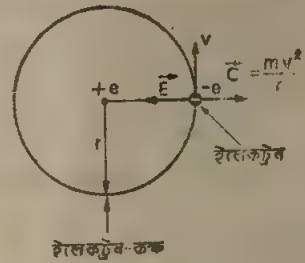
1815 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী প্রাউট (Prout) এই মতবাদ উপস্থাপন করিয়াছিলেন যে, সকল মৌলের পরমাণুই হাইড্রোজেন পরমাণু দ্বারা গঠিত। কিন্তু সকল মৌলের পারমাণবিক ওজন হাইড্রোজেনের পারমাণবিক ওজনের পূর্ণ গুণিতক নয় বলিয়া তাঁহার এই তথ্য বিজ্ঞানী-মহলে গৃহীত হয় নাই। 1897 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী জে. জে. টমসন ইলেকট্রন আবিষ্কার করেন। তিনি ইহাও প্রমাণ করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন যে, যখন কোন মৌলের পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হয় তখন উহা ধনাত্মক তড়িতে আহিত হইয়া পড়ে। ইহাই প্রত্যাশিত, কেননা, পরমাণু স্বাভাবিক অবস্থায় তড়িৎ-শূন্য। পরমাণুর মধ্যে ধনাত্মক তড়িদাধান এবং ঋণাত্মক ইলেকট্রনগুলি কীরূপভাবে বিন্যস্ত থাকে সে-সম্বন্ধে বিজ্ঞানী টমসন একটি প্রস্তাবনা দেন। ইহাকে টমসনের পরমাণু মডেল (Thomson's atom model) বলা হয়। টমসন এই অভিমত প্রকাশ করেন যে, পরমাণুতে একটি ধনাত্মক আধানের গোলকের মধ্যে বিন্দুবৎ ইলেকট্রনগুলি কয়েকটি নির্দিষ্ট অবস্থাতে সজ্জিত থাকে। কিন্তু টমসনের এই পরমাণু মডেল বিভিন্ন মৌলের বর্ণালীর সন্তোষজনক ব্যাখ্যা দিতে পারে না। উদাহরণস্বরূপ হাইড্রোজেন বর্ণালীর উল্লেখ করা যায়। ইহার বর্ণালীতে নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের বহুসংখ্যক বর্ণালী-রেখা পাওয়া যায়। টমসনের পরমাণু মডেল হইতে ইহার ব্যাখ্যা পাওয়া যায় না।

### 4.2 রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল

1911 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড ও তাঁহার সহকর্মীরা  $\alpha$ -কণার বিক্ষেপণ (scattering)-সংক্রান্ত পরীক্ষায় যে-তথ্য লাভ করিলেন টমসন মডেল হইতে তাহারও সূত্র ব্যাখ্যা মিলিল না। রাদারফোর্ড তাঁহার পরীক্ষালব্ধ ফলাফল ব্যাখ্যা করিতে গিয়া এক নূতন পরমাণু মডেল প্রস্তাব করিলেন। ইহাকে রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল (Rutherford's atom model) বলা হয়। রাদারফোর্ডের পরীক্ষাটি ছিল এইরূপ :

একটি পাতলা ধাতব পাতের উপর একগুচ্ছ সমান্তরাল  $\alpha$ -কণা বর্ষণ করিয়া তিনি লক্ষ্য করেন যে, অধিকাংশ  $\alpha$ -কণাই ইহার গতিপথ হইতে সামান্য বিচ্যুত হয়। কিন্তু মধ্যে মধ্যে কয়েকটি  $\alpha$ -কণাকে উহার গতিপথ হইতে বেশ কিছুটা বিচ্যুত হইতে দেখা যায়। কোন কোন  $\alpha$ -কণা  $90^\circ$  অপেক্ষা বেশি কোণেও বিক্ষিপ্ত হয়।  $\alpha$ -কণার এই উচ্চ কোণে বিক্ষেপ ব্যাখ্যা করিতে গিয়া রাদারফোর্ড সিদ্ধান্তে আসেন যে, পরমাণুর মধ্যে ধনাত্মক তড়িদাহিত অংশটি ইহার কেন্দ্রে অতি ক্ষুদ্র স্থানে নিবদ্ধ রহিয়াছে। পরমাণুর ধনাত্মক তড়িদাহিত এই কেন্দ্রটির নাম দেওয়া হইয়াছে নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক (nucleus)। ধনাত্মক তড়িদাহিত কোন  $\alpha$ -কণা যখন ধনাত্মক কেন্দ্রকের খুব সন্নিবিষ্ট হয়, তখন কুলম্বীয় বিকর্ষণ বলের প্রভাবে  $\alpha$ -কণাটি বিক্ষিপ্ত হয়।  $\alpha$ -কণা কেন্দ্রকের যত নিকটবর্তী হয়, ইহার বিক্ষেপের মানও তত বেশি হয়।

রাদারফোর্ড বলেন যে, পরমাণুর কেন্দ্রে অবস্থিত ধনাত্মক কেন্দ্রকটির ব্যাসার্ধ সমগ্র পরমাণুর ব্যাসার্ধ অপেক্ষা খুব কম। এই ব্যাসার্ধের মান  $10^{-12}$  cm বা তদপেক্ষা কম। অর্থাৎ, কেন্দ্রকের ব্যাসার্ধ সমগ্র পরমাণুর ব্যাসার্ধের প্রায় দশ হাজার ভাগের এক ভাগ। রাদারফোর্ড আরও বলেন যে, পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি কক্ষপথে উহার কেন্দ্রে প্রদক্ষিণ করিতে থাকে। কক্ষপথে ইলেকট্রনের এই আবর্তনের ফলে যে-অপকেন্দ্র বলের উদ্ভব হয় তাহাই ইলেকট্রন ও কেন্দ্রকের আকর্ষণকে প্রতি-মিত (balanced) করিয়া দেয় (চিত্র 4.1)।



চিত্র 4.1

কিন্তু রাদারফোর্ডের এই মতবাদের একটি গুরুতর ত্রুটি রহিয়া গেল। রাদারফোর্ড মতবাদের সাহায্যে পরমাণুর স্থায়িত্ব (stability) ব্যাখ্যা করা যায় না। কারণ তড়িচ্চুম্বকীয় তত্ত্ব (electromagnetic theory) অনুসারে কোন ত্বরণশীল আহিত কণা তড়িচ্চুম্বকীয় শক্তি বিকিরণ করে। কেন্দ্রকে ঘিরিয়া পরিভ্রমণশীল ইলেকট্রনের উপর অভিকেন্দ্র ত্বরণ ক্রিয়া করে। কাজেই ইহা হইতেও তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ নিঃসৃত হইবার কথা। ইহাতে ইলেকট্রনের বেগ ক্রমাগত এবং ইহার কক্ষ-পথের ব্যাসার্ধ ক্রমাগত হ্রাস হইতে থাকিবে। ফলে ইলেকট্রন একটি সর্পিলাকৃতি পথে আবর্তন করিতে করিতে ক্রমাগত কেন্দ্রের দিকে আগাইয়া আসিবে এবং অবশেষে ইহা কেন্দ্রকের উপর আসিয়া পড়িবে, ইহাতে পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাহত লইবে।

#### 4.3 বোরের পরমাণু মডেল (Bohr's atom model)

রাদারফোর্ডের প্রস্তাবিত মডেলের উপরি-উক্ত ত্রুটি দূর করেন বিজ্ঞানী নীলস্ বোর। তিনি সনাতন বলবিদ্যা (classical mechanics) এবং তড়িচ্চুম্বকীয়

তত্ত্বের পরিপন্থী কয়েকটি যুগান্তকারী স্বীকারের ভিত্তিতে পরমাণুর একটি নতুন প্রতিরূপ বা মডেল উপস্থাপন করেন। বিজ্ঞানী নীলস্ বোরের সর্বাপেক্ষা সরল পরমাণু অর্থাৎ হাইড্রোজেন পরমাণুর গঠন বিবেচনা করেন এবং তাঁহার প্রস্তাবিত পরমাণু মডেলের সাহায্যে হাইড্রোজেন বর্ণালীর সুষ্ঠু ব্যাখ্যা করিতে সক্ষম হন। হাইড্রোজেন পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে বোরের স্বীকার্যগুলি (postulates) নিম্নরূপ :



চিত্র 4.2 বিজ্ঞানী নীলস্ বোর

প্রথম স্বীকার্য : পরমাণুর ইলেকট্রন কতকগুলি নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধবিশিষ্ট বৃত্তাকার কক্ষপথে নিউক্লিয়াসের চারিপাশে আবর্তিত হইতে থাকে। এই কক্ষপথগুলিকে স্থায়ী কক্ষপথ (stationary orbits) বলা হয়। স্থায়ী কক্ষপথে ভ্রাম্যমাণ ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ,  $p$  (angular momentum)  $2\pi\hbar$ -এর পূর্ণ গুণিতক হয়। এখানে  $\hbar$  = প্লান্কের ধ্রুবক। ইলেকট্রনের কক্ষপথ সম্বন্ধে বোরের এই প্রকল্পকে কোয়ান্টাম শর্ত (quantum condition) বলা হয়।

কোন স্থায়ী কক্ষের ব্যাসার্ধ  $r$  হইলে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ,

$$p = I\omega, \quad (I = \text{ইলেকট্রনের জ্যাড্যামাক, } \omega = \text{কৌণিক ভরবেগ})$$

$$\text{কিন্তু, } I = mr^2 \quad \text{এবং } \omega = \frac{v}{r} \quad \therefore p = mr^2 \times \frac{v}{r} = mvr$$

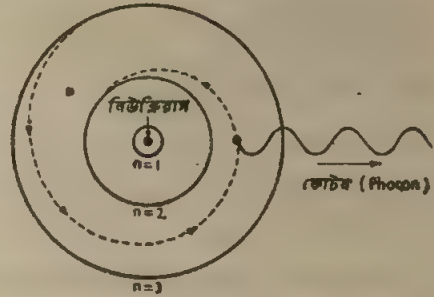
$$\text{বোরের কোয়ান্টাম শর্তানুসারে, } p = mvr = n \cdot \frac{h}{2\pi} \quad \dots \quad (4.1)$$

এখানে  $n$  একটি পূর্ণ সংখ্যা। বিভিন্ন কক্ষপথে  $n$ -এর মান বিভিন্ন। ইহাকে প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (Principal quantum number) বলা হয়।

এই প্রকল্প-অনুসারে হাইড্রোজেন ইলেকট্রনটি কেবলমাত্র কতকগুলি নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের কক্ষপথে পরিভ্রমণ করিতে পারে। সনাতন বলবিদ্যা (classical mechanics)-অনুযায়ী ইলেকট্রনটি কেন্দ্রকে ঘিরিয়া যে-কোন বৃত্তপথে আবর্তিত হইতে পারে। কাজেই দেখা যাইতেছে, বোরের কোয়ান্টাম শর্ত সনাতন বলবিদ্যার বিরোধী।

দ্বিতীয় স্বীকার্য : যতক্ষণ পর্যন্ত ইলেকট্রনটি একটি স্থায়ী কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে ততক্ষণ পর্যন্ত পরমাণু হইতে কোন তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ নিঃসৃত হয় না। স্পষ্টতই, বোরের এই প্রকল্পও সনাতন তড়িচ্চুম্বকীয় তত্ত্বের বিরোধী।

তৃতীয় স্বীকার্য : যখন কোন নির্দিষ্ট স্থায়ী কক্ষপথ হইতে অন্য কোন স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের সংক্রমণ (transition) হয় (অর্থাৎ, যখন কোন ইলেকট্রন একটি কক্ষপথ হইতে অন্য কোন কক্ষপথে ঝাঁপ দিয়া পড়ে) তখন পরমাণু হইতে একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের ফোটন-কণা নিঃসৃত হয় (চিত্র 4.3)।



চিত্র 4.3

যদি প্রারম্ভিক কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি  $E_2$  হয় এবং অন্তিম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি  $E_1$  হয় তাহা হইলে নিঃসৃত ফোটন-কণার শক্তির পরিমাণ হইবে  $(E_2 - E_1)$ । প্রাক্টের কোয়ান্টাম মতবাদ হইতে শক্তির পরিমাণ,

$$E_2 - E_1 = h\nu \quad \dots (4.2)$$

এখানে  $\nu$  হইল নিঃসৃত বিকিরণের কম্পাঙ্ক। এই সমীকরণকে বোরের কম্পাঙ্ক শর্ত (Bohr's frequency condition) বলা হয়।

● কোন স্থায়ী কক্ষে ইলেকট্রনের শক্তির পরিমাণ

মনে করি, কোন স্থায়ী কক্ষের ব্যাসার্ধ  $= r$

ইলেকট্রনের ভর এবং বেগ যথাক্রমে  $m$  এবং  $v$  হইলে লেখা যায়,

$$\frac{Ze^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad \dots (i)$$

( অভিকেন্দ্র বল এবং কুলম্বীয় বিকর্ষণ বল পরস্পর সমান বলিয়া )

$$\therefore v^2 = \frac{Ze^2}{mr} \quad \dots (ii)$$

আবার বোরের কোয়ান্টাম শর্ত হইতে লেখা যায়,

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \text{ বা, } v = \frac{nh}{2\pi mr} \quad \dots (iii)$$

(ii) ও (iii) হইতে লেখা যায়,

$$\frac{Ze^2}{mr} = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m^2 r^2} \text{ বা, } r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m Ze^2} \quad \dots (iv)$$

ইলেকট্রনের গতিশক্তি  $= \frac{1}{2} mv^2$  এবং স্থিতিশক্তি  $= -\frac{Ze^2}{r}$

$$\therefore \text{ইলেকট্রনের মোট শক্তি, } E = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{Ze^2}{r} \quad \dots (v)$$

$$\text{সমীকরণ (i) হইতে লেখা যায়, } mv^2 = \frac{Ze^2}{r} \quad \dots (vi)$$



$$(v) \text{ এবং } (vi) \text{ হইতে পাই, } E = \frac{1}{2} \cdot \frac{Ze^2}{r} - \frac{Ze^2}{r} = -\frac{1}{2} \frac{Ze^2}{r} \quad \dots \quad (vii)$$

সমীকরণ (iv) হইতে  $r$ -এর মান বসাইয়া দেখান যায় যে,  $n$ -তম কক্ষে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_n = -\frac{2\pi^2 Z^2 me^4}{n h^2}$  (4.3)

শক্তির উপরি-উক্ত মানে ঋণাত্মক চিহ্নটির তাৎপর্য এই যে,  $n$ -এর মান বৃদ্ধি বোশ হইবে ইলেকট্রনের মোট শক্তির মান তত বোশ হইবে। স্পষ্টতই, ইলেকট্রনটি যখন উহার ক্ষুদ্রতম কক্ষপথে ( $n=1$ ) থাকে তখন ইহার শক্তি সর্বনিম্ন।

কোন ইলেকট্রন যখন  $n_2$ -তম কক্ষপথে হইতে ঝাঁপ দিয়া  $n_1$ -তম কক্ষপথে ( $n_2 > n_1$ ) আসে তখন ইহার শক্তির হ্রাস ( $E_{n_2} - E_{n_1}$ )। বোরের কস্পাত্মক শর্ত-অনুসারে, এই সময় ইলেকট্রন হইতে যে-বিকিরণ নিঃসৃত হইবে তাহার কস্পাত্মক  $\nu$  হইলে লেখা যায়,  $E_{n_2} - E_{n_1} = h\nu$

$$\text{কিন্তু } E_{n_1} = -\frac{2\pi^2 Z^2 me^4}{n_1^2 h^2} \text{ এবং } E_{n_2} = -\frac{2\pi^2 Z^2 me^4}{n_2^2 h^2}$$

$$\therefore \nu = \frac{1}{h} [E_{n_1} - E_{n_2}] = \frac{2\pi^2 Z^2 me^4}{h^3} \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] \quad \dots \quad (4.4)$$

এই সমীকরণ হইতে বোর হাইড্রোজেন বর্ণালীর বিভিন্ন বর্ণালী-রেখার (spectral lines) উৎপত্তি ব্যাখ্যা করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন।

● হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন আছে, তথাপি হাইড্রোজেন বর্ণালীতে বহুসংখ্যক রেখার সৃষ্টি হয় কিরূপে?

কোরের তত্ত্ব হইতে সহজেই ইহার ব্যাখ্যা পাওয়া যায়। স্বাভাবিক অবস্থায় হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনটি থাকে প্রথম কক্ষপথে। যখন কোন হাইড্রোজেন পরমাণু বাহির হইতে শক্তি শোষণ করিয়া উত্তেজিত অবস্থায় আসে তখন উহার ইলেকট্রনটি উচ্চতর কক্ষপথে উন্নীত হয়। আমরা জানি যে, কোন উত্তেজিত পরমাণুর ইলেকট্রন যখন কোন উচ্চতর কক্ষপথে হইতে নিম্নতর কক্ষপথে লাফাইয়া পড়ে, তখন একটি নির্দিষ্ট কস্পাত্মকের বিকিরণ নিঃসৃত হয়। উত্তেজিত অবস্থায় হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনটি বিভিন্ন কক্ষপথে থাকিতে পারে এবং ইলেকট্রনটি উচ্চতর কক্ষপথে হইতে একাধিক নিম্নতর কক্ষপথে যে-কোন একটিতে লাফাইয়া পড়িতে পারে। মনে করি, ইলেকট্রনটি চতুর্থ কক্ষপথে আছে। এক্ষেত্রে উহা তৃতীয়, দ্বিতীয় এবং প্রথম কক্ষপথের যে-কোন একটিতে লাফাইয়া পড়িতে পারে। স্পষ্টতই, এই তিনটি ক্ষেত্রে তিনটি বিভিন্ন কস্পাত্মকের আলো নিঃসৃত হইবে। অনুরূপভাবে, উত্তেজিত পরমাণুর ইলেকট্রনটি যদি তৃতীয় কক্ষপথে থাকে, তবে উহা দ্বিতীয় এবং প্রথম কক্ষপথে লাফ দিয়া পড়িতে পারে। এক্ষেত্রে দুইটি বিভিন্ন কস্পাত্মকের আলো নিঃসৃত হইবে। কাজেই দেখা যাইতেছে যে, ইলেকট্রন একটি

হইলেও বহুসংখ্যক সম্ভাব্য কক্ষপথ আছে বলিয়া; হাইড্রোজেন-বর্ণালীতে বহুসংখ্যক বর্ণালী-রেখা সৃষ্টি হইতে পারে।

● হাইড্রোজেন পরমাণুর কার্যকর ব্যাসার্ধ অপেক্ষা হিলিয়াম পরমাণুর কার্যকর ব্যাসার্ধ কম কেন?

হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াস অপেক্ষা হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের ভর বেশি। কিন্তু তবুও হিলিয়াম পরমাণুর কার্যকর ব্যাসার্ধ হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাসার্ধ অপেক্ষা কম। ইহার কারণ নিয়ে ব্যাখ্যা করা হইল।

স্বাভাবিক অবস্থায় হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন এবং হিলিয়াম পরমাণুর ইলেকট্রনদ্বয় প্রথম কক্ষপথে ( অর্থাৎ, নিউক্লিয়াসের নিকটতম কক্ষপথে ) থাকে। কাজেই, হাইড্রোজেন বা হিলিয়াম পরমাণুর কার্যকর ব্যাসার্ধ উহাদের প্রথম স্থায়ী কক্ষের ব্যাসার্ধের সমান। কোন মৌলের পরমাণুর স্থায়ী কক্ষগুলির ব্যাসার্ধ উহার নিউক্লিয়াসের প্রোটন-সংখ্যার উপর বা উক্ত মৌলের পারমাণবিক সংখ্যার উপর নির্ভরশীল। নিউক্লিয়াস হইতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থিত ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল কুলম্বীয় আকর্ষণ বল নিউক্লিয়াসের প্রোটন-সংখ্যা  $Z$ -এর উপর নির্ভর করে।  $Z$ -এর মান যত বেশি হয় কুলম্বীয় আকর্ষণও তত বেশি হয়। কুলম্বীয় আকর্ষণ যত বেশি হইবে কোন নির্দিষ্ট কক্ষপথের ব্যাসার্ধ তত কম হইবে। বোরের তত্ত্বানুসারে, কোন নির্দিষ্ট কোয়ান্টাম-সংখ্যা-বিশিষ্ট ইলেকট্রন-কক্ষের ব্যাসার্ধ  $Z$ -এর ব্যস্তানুপাতিক। প্রকৃতপক্ষে,  $n$ -তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নিম্নের সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় :

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi m Z e^2}$$

সুতরাং, কোন মৌলের পরমাণুর প্রথম ইলেকট্রন-কক্ষের ব্যাসার্ধ

$$r_n = \frac{h^2}{4\pi m Z e^2}$$

স্পষ্টতই, হিলিয়াম পরমাণুর প্রথম ইলেকট্রন কক্ষের ব্যাসার্ধ হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম ইলেকট্রন-কক্ষের ব্যাসার্ধের অর্ধেক। অর্থাৎ, হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাসার্ধ অপেক্ষা হিলিয়াম পরমাণুর কার্যকর ব্যাসার্ধ কম।

### ● সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণবলি ●

উদাহরণ 4.1 হাইড্রোজেনের প্রথম ইলেকট্রন কক্ষের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। ধরিয়া লও যে,  $h = 6.2 \times 10^{-27}$  erg-sec,  $m = 9.11 \times 10^{-28}$  gm এবং  $e = 4.803 \times 10^{-10}$  e. s. u.

সমাধান : বোরের তত্ত্বানুসারে আমরা জানি যে, কোন পরমাণুর  $n$ -তম ইলেকট্রন কক্ষের ব্যাসার্ধ,  $r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m Z e^2}$

$$\therefore \text{প্রথম ইলেকট্রন কক্ষের ব্যাসার্ধ, } r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m Z e^2}$$

হাইড্রোজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে  $Z = 1$  বলিয়া,

$$r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} = \frac{(6.62 \times 10^{-27})^2}{4\pi^2 \times (9.11 \times 10^{-31}) \times (4.803 \times 10^{-10})^2} \text{ cm}$$

$$= 5.27 \times 10^{-9} \text{ cm}$$

**উদাহরণ 4.2** কোন উত্তেজিত হাইড্রোজেন পরমাণুর তৃতীয় কক্ষ হইতে কোন ইলেকট্রন উহার দ্বিতীয় কক্ষে লাফাইয়া পড়িলে এই পরমাণু হইতে যে-বিকিরণ নিঃসৃত হয়, তাহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের মান নির্ণয় কর। (4.1 নং উদাহরণ হইতে প্রয়োজনীয় উপাত্তগুলি পাইবে)

সমাধান :  $v = \frac{c}{\lambda} = \frac{2\pi^2 Z^2 m e^4}{h^3} \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$

বা,  $\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 Z^2 m e^4}{ch^3} \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$

এখানে,  $Z = 1$ ,  $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ gm}$

$e = 4.803 \times 10^{-10} \text{ e. s. u.}$ ,  $c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$

এবং  $h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$

$\therefore \frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 \times (9.11 \times 10^{-31}) \times (4.803 \times 10^{-10})^4}{(3 \times 10^{10}) \times (6.62 \times 10^{-27})^3} \left[ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right]$

বা,  $\lambda = 6.558 \times 10^{-5} \text{ cm} = 6558 \text{ \AA}$

**উদাহরণ 4.3** হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি  $-13.6$  ইলেকট্রন-ভোল্ট হইলে ইহার দ্বিতীয় কক্ষপথে হইতে প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রন-সংক্রমণের ফলে নিঃসৃত ফোটনের শক্তি কত হইবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1983 ]

সমাধান : আমরা জানি যে, পরমাণুর  $n$ -তম ইলেকট্রন কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি  $n^2$ -এর ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ,  $n$ -তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি

$$E_n = -\frac{k}{n^2} \quad \dots (i)$$

এখানে  $k$  একটি ধ্রুবক।

প্রশ্নের শর্তানুসারে  $n = 1$  হইলে  $E_n = -13.6 \text{ ev}$  বলিয়া (i) হইতে লেখা যায়,

$$-13.6 \text{ ev} = -\frac{k}{1^2}$$

বা,  $k = -13.6 \text{ ev} \quad \dots (ii)$

(i) এবং (ii) হইতে পাই,  $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ ev}$

কাজেই, প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি  $= -13.6 \text{ ev}$

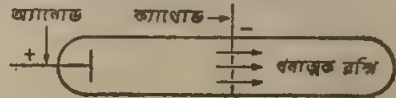
এবং দ্বিতীয় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি  $= -\frac{13.6}{2^2} \text{ ev} = -\frac{13.6}{4} \text{ ev}$

সুতরাং দ্বিতীয় কক্ষপথ হইতে প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রন-সংক্রমণের ফলে নিঃসৃত ফোটন কণার শক্তি,

$$h\nu = E_2 - E_1 = \left( -\frac{13.6}{4} + 13.6 \right) \text{ ev} = 10.2 \text{ ev}$$

#### 4.4 পজিটিভ রশ্মি (Positive rays)

1886 খ্রীস্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী গোল্ডস্টাইন তড়িৎ-মোক্ষণ-সংক্রান্ত পরীক্ষাকালে লক্ষ্য করেন যে, মোক্ষণ-নলের ক্যাথোডের গায়ে কয়েকটি ছোট ছোট ছিদ্র থাকিলে ক্যাথোডের পিছনের দিকে (অ্যানোড যে-দিকে থাকে তাহার বিপরীত দিকে একটি-দীপ্তিমান রশ্মি নির্গত হইতে থাকে (চিত্র 4.4)। গোল্ডস্টাইন



চিত্র 4.4

ইহার নামকরণ করেন ক্যানেল রশ্মি (canal rays)। এই রশ্মিগুলির উপর তড়িৎ-ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া লক্ষ্য করিয়া বুঝা যায় যে, ইহা ধনাত্মক তড়িদাহিত কণা দ্বারা গঠিত। এইজন্য উক্ত রশ্মিকে ধনাত্মক রশ্মি আখ্যা দেওয়া হইয়াছে।

এই রশ্মির উৎপত্তির কারণ সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়। মোক্ষণ-নলের গ্যাসের মধ্য দিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ করিলে উহাতে যে-ধনাত্মক আয়ন সৃষ্টি হয়, তাহাই ক্যাথোডের ছিদ্রের মধ্য দিয়া নিঃসৃত হইতে থাকে। অর্থাৎ, মোক্ষণ-নলে যে-গ্যাস থাকে তাহারই অণু ও পরমাণু আয়নিত হইয়া ধনাত্মক রশ্মি সৃষ্টি করে।

#### 4.5 টমসনের ধনাত্মক রশ্মি বিশ্লেষণের অধিবৃত্ত পদ্ধতি (Thomson's parabola method for the analysis of positive rays)

বিজ্ঞানী টমসন সমান্তরাল তড়িৎ-ক্ষেত্রে এবং চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিয়া ধনাত্মক রশ্মি বিশ্লেষণের একটি পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন। তিনি দেখান যে, ধনাত্মক রশ্মির উপর তড়িৎ-ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে ধনাত্মক তড়িদাহিত আয়নগুলি একটি পর্দার উপর নির্দিষ্ট নিম্নমে ছড়াইয়া পড়ে। তিনি দেখান যে, যে-সকল কণার আধান ( $e$ ) এবং ভর ( $M$ )-এর অনুপাতের মান নির্দিষ্ট সেই সকল কণা পর্দার উপর একটি অধিবৃত্তের উপর ছড়াইয়া পড়ে। কোন অধিবৃত্তের প্রতিটি বিন্দুতে আগত কণার  $e/M$ -এর মান সমান, কিন্তু গতিবেগ সমান নয়। অর্থাৎ, গতিবেগের বিভিন্নতার জন্য একই  $e/M$ -সম্পন্ন কণা একই অধিবৃত্তের বিভিন্ন বিন্দুতে আপতিত হয়।

কাজেই, আধান  $e$ -এর মান নির্দিষ্ট হইলে ধনাত্মক রশ্মির কণাগুলি উহাদের নিজ নিজ ভর ( $M$ ) অনুযায়ী বিভিন্ন অধিবৃত্তের উপর ছড়াইয়া পড়ে। বর্ণালী-বীক্ষণ যন্ত্র তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অনুযায়ী আলোকে বিশ্লিষ্ট করিয়া বর্ণালী (spectrum) সৃষ্টি করে। অনুরূপভাবে, টমসন-কর্তৃক উদ্ভাবিত ষট্টি ধনাত্মক রশ্মির কণাগুলিকে উহাদের ভর



অনুসারে বিঘ্নিত করিয়া উহাদিগকে বিভিন্ন অধিবৃত্তে ছড়াইয়া দেয়। এইজন্য উৎপন্ন অধিবৃত্তগুলিকে ভর-বর্ণালী আখ্যা দেওয়া হইয়াছে। টমসন-কর্তৃক উদ্ভাসিত যন্ত্রটির সাহায্যে বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক ভর নির্ণয় করা যায়।

#### 4.6 পরমাণুর মৌলিক উপাদান

বর্তমান মতবাদ অনুসারে পরমাণু তিনটি মৌল কণা দ্বারা গঠিত। উহাদের নাম—(i) ইলেকট্রন, (ii) প্রোটন এবং (iii) নিউট্রন।

(i) ইলেকট্রন (Electron) : ইলেকট্রন পরমাণুর সূক্ষ্মতম কণা। ইহার ভর মাত্র  $9.1083 \times 10^{-28}$  গ্রাম। ইহার ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের প্রায় 1837 ভাগের এক ভাগ মাত্র। ইলেকট্রনগুলি ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত। প্রতিটি ইলেকট্রনের আধানের পরিমাণ  $1.601 \times 10^{-19}$  কুলম্ব। ইলেকট্রনের ব্যাস প্রায়  $5.64 \times 10^{-13}$  সেন্টিমিটার। পারমাণবিক পদার্থবিজ্ঞানে ফের্মি (fermi) নামে একটি দৈর্ঘ্যের একক প্রচলিত আছে।  $10^{-13}$  cm দৈর্ঘ্যকে 1 ফের্মি বলা হয়। কাজেই বলা যায়, ইলেকট্রনের ব্যাস প্রায় 5.64 ফের্মি।

সকল পরমাণুতেই ইলেকট্রন আছে। যে-কোন মৌলিক পরমাণু হইতেই ইলেকট্রন সংগ্রহ করা হউক না কেন, ইহারা সর্বদা একই প্রকৃতির। কাজেই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, ইলেকট্রন সকল মৌলের পরমাণুর সাধারণ উপাদান।

(ii) প্রোটন (Proton) : যে-কোন পরমাণু স্বাভাবিক অবস্থায় নিষ্কিড়ৎ। কিন্তু পরমাণুর উপাদানে ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত ইলেকট্রনের অস্তিত্ব আবিষ্কৃত হইয়াছে। কাজেই পরমাণুর ইলেকট্রনের ঋণাত্মক তড়িদাধানকে প্রতিমিত (balanced) করিবার জন্য উহাতে ধনাত্মক তড়িদাধানও থাকা প্রয়োজন। প্রমাণিত হইয়াছে যে, সকল পরমাণুতেই ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত একপ্রকার মৌল কণা থাকে। ইহাদের নাম প্রোটন। একটি ইলেকট্রনে ঋণাত্মক তড়িদাধান থাকে, একটি প্রোটনে ঠিক সেই পরিমাণ ধনাত্মক তড়িদাধান থাকে। প্রোটনের ভর  $1.6724 \times 10^{-24}$  গ্রাম। ইলেকট্রনের তুলনায় প্রোটন 1836.12 গুণ ভারী। প্রোটনের ব্যাস প্রায়  $2.4 \times 10^{-13}$  সেন্টিমিটার বা 2.4 ফের্মি।

উল্লেখ করা যাইতে পারে যে, একটি হাইড্রোজেন পরমাণু হইতে উহার ইলেকট্রনটি বিচ্ছিন্ন করিলে যাহা পড়িয়া থাকে তাহাই হইল প্রোটন। অর্থাৎ, প্রোটন হইল হাইড্রোজেন-আয়ন ( $1.4$  নং অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

(iii) নিউট্রন (Neutron) : ইহা নিষ্কিড়ৎ কণা। ইহা ওজনে প্রোটনের তুলনায় একটু ভারী। ইহার ভর  $1.6748 \times 10^{-24}$  গ্রাম। নিউট্রন ও প্রোটনের ভরের অন্তরফল একটি ইলেকট্রনের ভরের প্রায় আড়াই গুণের সমান। হাইড্রোজেন ব্যতীত আর সকল মৌলের পরমাণুতেই নিউট্রন থাকে। প্রোটনের মত ইহারও ব্যাস প্রায়  $2.4 \times 10^{-13}$  সেন্টিমিটার বা 2.4 ফের্মি।

লক্ষণীয় যে, প্রোটন বা নিউট্রন অপেক্ষা ইলেকট্রন আকারে বড়, অথচ ওজনে অনেক কম।

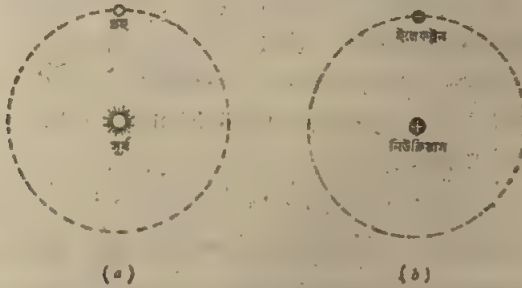
মনে রাখিবার সুবিধার জন্য পরমাণুর উপাদানগুলির ভর, আধান এবং ব্যাসার্ধ সংক্রান্ত তথ্যগুলিকে নিম্নে তালিকার আকারে দেওয়া হইল।

কণা	ভর (গ্রাম)	ব্যাস (ফেমি)	আধান (কুলম্ব)
ইলেকট্রন	$9.1083 \times 10^{-31}$	5.64	$1.601 \times 10^{-19}$ (ঋণাত্মক)
প্রোটন	$1.6724 \times 10^{-24}$	2.4	$1.601 \times 10^{-19}$ (ধনাত্মক)
নিউট্রন	$1.6748 \times 10^{-24}$	2.4	0

সকল পরমাণুর দুইটি অংশ আছে—(i) ধনাত্মক-তড়িৎ-গ্রন্থ কেন্দ্রিক বা নিউক্লিয়াস (nucleus) এবং (ii) কক্ষপথে ভ্রাম্যমাণ ইলেকট্রনসমূহ। পরমাণুর প্রোটন ও নিউট্রনগুলি উহার কেন্দ্রকে সম্মিষিষ্ট থাকে। আর, ইলেকট্রনগুলি থাকে কেন্দ্রকের বাহিরে কতকগুলি নির্দিষ্ট কক্ষপথে।

#### 4.7 পরমাণুর গঠন

পরমাণুর গঠনের সহিত সৌরজগতের গঠনের যথেষ্ট মিল রহিয়াছে। সৌরজগতের কেন্দ্রে রহিয়াছে সূর্য; উহাকে ঘিরিয়া গ্রহগুলি নিজ নিজ কক্ষপথে ঘোরে



চিত্র 4.5

(চিত্র 4.5 a)। বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড তাঁহার পরীক্ষা-ভিত্তিক গবেষণায় প্রাপ্ত ফল ব্যাখ্যা করিতে গিয়া এই সিদ্ধান্তে আসেন যে, কোন পরমাণুর কেন্দ্রে থাকে একটি ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রন্থ অংশ। পরমাণুর মধ্যস্থলে অবস্থিত এই ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রন্থ অংশের নাম কেন্দ্রিক বা নিউক্লিয়াস (nucleus)। ঋণাত্মক তড়িৎ-গ্রন্থ ইলেকট্রনগুলি এই নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া নিজ নিজ কক্ষপথে ঘোরে (চিত্র 4.5 b)। কাজেই, সৌরজগতের গঠনের সহিত পরমাণুর গঠনের তুলনা করিলে ইহাদের নিম্নোক্ত সাদৃশ্যগুলি সহজেই লক্ষ্য করা যায়।

(i) সৌরজগতের কেন্দ্রে থাকে সূর্য এবং বিভিন্ন কক্ষপথে থাকে বিভিন্ন গ্রহ। তেমনি পরমাণুর কেন্দ্রে থাকে নিউক্লিয়াস এবং উহার চারিদিকে বিভিন্ন কক্ষপথে থাকে বিভিন্ন ইলেকট্রন। অর্থাৎ, সৌরজগতে সূর্যের যে-ভূমিকা পরমাণুর গঠনে নিউক্লিয়াসের সেই ভূমিকা এবং সৌরজগতের বিভিন্ন কক্ষপথে ভ্রাম্যমাণ গ্রহগুলির যে-ভূমিকা পরমাণুর গঠনে ইলেকট্রনগুলিরও সেই ভূমিকা।

(ii) গ্রহগুলির তুলনায় সূর্য অনেক বেশি ভারী। তেমনি, ইলেকট্রনগুলির তুলনায় নিউক্লিয়াস অনেক বেশি ভারী। সৌরজগতের ভর যেমন কার্যত সূর্যের ভরের সমান, পরমাণুর ভরও তেমনি কার্যত নিউক্লিয়াসের ভরের সমান।

(iii) সৌরজগতে সূর্য এবং গ্রহগুলির মধ্যে যেমন বিস্তর শূন্যস্থান আছে, পরমাণুর অভ্যন্তরে তেমনি নিউক্লিয়াস এবং ইলেকট্রনগুলির মধ্যে শূন্যতার ব্যবধান আছে।

(iv) সূর্য এবং গ্রহগুলির মধ্যে মহাকর্ষ বল ক্রিয়া করিয়া গ্রহগুলিকে উহাদের কক্ষপথে ভ্রাম্যমাণ অবস্থায় রাখে। তেমনি, নিউক্লিয়াস এবং ইলেকট্রনগুলির মধ্যে তড়িৎ-বল ক্রিয়া করিয়া ইলেকট্রনগুলিকে উহাদের কক্ষপথে রাখে।

(v) গ্রহগুলি যেমন বিভিন্ন কক্ষপথে সূর্যের চারিদিকে ঘোরে, ইলেকট্রনগুলিও তেমনি নিউক্লিয়াসের চারিদিকে বিভিন্ন কক্ষপথে ঘোরে। সূর্যের চারিদিকে গ্রহগুলির কক্ষপথ যেমন উপবৃত্তাকার (elliptical), নিউক্লিয়াসের চারিদিকে ভ্রাম্যমাণ ইলেকট্রনগুলির কক্ষপথও তেমনি উপবৃত্তাকার।

**সৌরজগৎ ও পরমাণু জগতের বৈসাদৃশ্য :**

উপরের আলোচনা হইতে বুঝা গেল যে, পরমাণুর গঠনের সহিত সৌরজগতের গঠনের বেশ সাদৃশ্য আছে। এ প্রসঙ্গে সৌরজগতের গঠনের সহিত পরমাণুর গঠনের কয়েকটি পার্থক্যও লক্ষণীয়।

(i) সৌরজগতে সূর্য ও গ্রহগুলির মধ্যে ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বল মহাকর্ষীয়, কিন্তু পরমাণুর নিউক্লিয়াস এবং ইলেকট্রনের মধ্যে ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বৈদ্যুতিক।

(ii) সৌরজগতে একটি কক্ষপথে একটির বেশি গ্রহ থাকে না, কিন্তু পরমাণুতে একই কক্ষপথে একাধিক ইলেকট্রন থাকিতে পারে। কোন্ কক্ষপথে সর্বোচ্চ কতগুলি ইলেকট্রন থাকিতে পারে সে-সম্পর্কে একটি নির্দিষ্ট নিয়ম আছে।

(iii) একটি নির্দিষ্ট গ্রহ সর্বদা একটি নির্দিষ্ট কক্ষপথে থাকে। গ্রহগুলি কখনও এক কক্ষপথ হইতে অন্য কক্ষপথে স্থানান্তরিত হয় না। কিন্তু পরমাণুর ইলেকট্রনগুলির এক কক্ষ হইতে অন্য কক্ষে সংক্রমণ (transition) হইতে পারে। বিজ্ঞানী নীলস বোরের তত্ত্বানুসারে, কোন পরমাণু যখন শক্তি বিকিরণ করে বা শোষণ করে তখন উহার ইলেকট্রনগুলির এইরূপ এক কক্ষ হইতে অন্য কক্ষে সংক্রমণ ঘটে।

(iv) সূর্য হইতে নিরবচ্ছিন্নভাবে তাপ, আলো ইত্যাদি শক্তি নিঃসৃত হইতেছে। সুস্থিত নিউক্লিয়াস হইতে কোন শক্তি নিঃসৃত হয় না।

(v) সৌরজগতে বিভিন্ন কক্ষপথে যে-সকল গ্রহ সূর্যকে প্রদক্ষিণ করে উহাদের ভর এবং আয়তন বিভিন্ন। কিন্তু পরমাণুতে নিউক্লিয়াসকে প্রদক্ষিণরত ইলেকট্রন-গুলির ভর এবং আয়তন অভিন্ন।

(vi) সৌরজগতে অনেক গ্রহের উপগ্রহ আছে, কিন্তু পরমাণুর কক্ষপথে দ্রাম্যমাণ ইলেকট্রনগুলির কোন উপ-ইলেকট্রন নাই।

#### 4.8 একস্থানিক বা আইসোটোপ (Isotope)

যে-সকল পরমাণুর রাসায়নিক ধর্ম অভিন্ন কিন্তু পারমাণবিক ভর ভিন্ন তাহাদিগকে একস্থানিক বা আইসোটোপ বলা হয়। রাসায়নিক ধর্মের বিচারে অভিন্ন বলিয়া পর্যায় সারণীতে ইহার। একই স্থান অধিকার করে। তেজস্ক্রিয়তা-সংক্রান্ত গবেষণাকালে বিজ্ঞানী সডি প্রথম এইরূপ একস্থানিকের অস্তিত্বের কথা অনুমান করেন।

স্থায়ী মোলের ক্ষেত্রে সর্বপ্রথম আইসোটোপের অস্তিত্ব আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী টমসন। তিনি তাঁহার উদ্ভাবিত অধিবৃত্ত পদ্ধতিতে নিয়ন গ্যাস লইয়া পরীক্ষা করিয়া দেখিলেন যে, ফটোগ্রাফিক প্রেটে দুইটি অধিবৃত্ত উৎপন্ন হইয়াছে। ইহা হইতে বুঝা গেল যে, ব্যবহৃত নিয়ন গ্যাসে দুই প্রকার পারমাণবিক ভরবিশিষ্ট পরমাণু রহিয়াছে। ইহাদের মধ্যে একটির পারমাণবিক ভর 20 এবং অপরটির পারমাণবিক ভর 22। রাসায়নিক পরীক্ষায় নিয়নের পারমাণবিক ভর পাওয়া যায় 20.2। ইহা হইতে বিজ্ঞানী টমসন সিদ্ধান্তে আসেন যে, প্রকৃতিতে প্রাপ্ত নিয়ন গ্যাসে 20 পারমাণবিক ভরবিশিষ্ট পরমাণু রহিয়াছে শতকরা 90 ভাগ এবং 22 পারমাণবিক ভরবিশিষ্ট পরমাণু রহিয়াছে 10 ভাগ, কেননা,

$$20 \times 0.9 + 22 \times 0.1 = 20.2$$

টমসনের এই আবিষ্কার পরমাণুর কেন্দ্রকের গঠন-সংক্রান্ত গবেষণার ক্ষেত্রে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।

শুধু নিয়নের ক্ষেত্রেই নয়, পরবর্তী কালে বিজ্ঞানীরা অনেক মোলের ক্ষেত্রেই একাধিক স্থায়ী আইসোটোপের সন্ধান পাইয়াছেন। অক্সিজেনের তিন প্রকার আইসোটোপ আছে, যথা— $O^{16}$ ,  $O^{17}$  এবং  $O^{18}$ । প্রাকৃতিক অক্সিজেনে আইসোটোপগুলি একটি নির্দিষ্ট অনুপাতে থাকে। ক্লোরিনের দুইটি স্থায়ী আইসোটোপ আছে, যথা— $Cl^{35}$  এবং  $Cl^{37}$ । টিনের দশটি আইসোটোপের সন্ধান পাওয়া গিয়াছে। আইসোটোপ সম্বন্ধে পরে বিস্তারিত আলোচনা করা হইবে।

রাসায়নিকবিদগণ অক্সিজেনের পারমাণবিক ভরকে 16 ধরিয়া ইহার সহিত তুলনা করিয়া অন্যান্য মোলের পারমাণবিক ভর হিসাব করেন। অক্সিজেনের আইসোটোপ-গুলি আবিষ্কৃত হইবার পর পদার্থবিদগণ পারমাণবিক ভরের একটি বিকল্প



একক ব্যবহার করেন। তাঁহারা  $O^{16}$  আইসোটোপের পারমাণবিক ভরকে 16 ধরেন। পারমাণবিক ভরের এই একক এবং উল্লিখিত রাসায়নিক এককের অনুপাত  $1 : 1.00027$ । বর্তমানে কার্বনের স্থায়ী আইসোটোপ  $C^{12}$ -এর ভরকে 12 ধরিয়া অন্যান্য মৌলের পারমাণবিক ভর হিসাব করা হয়। শেষোক্ত একক বর্তমানে আন্তর্জাতিক সম্মতিক্রমে গৃহীত হইয়াছে।

#### 4.9 বৈজ্ঞানিকের গঠন (Structure of nucleus)

প্রোটন-ইলেকট্রন তত্ত্ব : ভর-বর্ণালীলেখ যন্ত্রের সাহায্যে বিভিন্ন মৌলের উপর পরীক্ষা করিয়া অ্যাস্টন লক্ষ্য করেন যে, বিভিন্ন পরমাণুর আইসোটোপের ভর প্রায় এক একটি পূর্ণসংখ্যার সমান। এই তথ্যকে অ্যাস্টনের ‘‘পূর্ণ সংখ্যা সূত্র’’ (whole number rule) বলা হয়। হাইড্রোজেনের পারমাণবিক ভর এক বলিয়া উনিবিংশ শতাব্দীর বিজ্ঞানী প্রাউট এই অভিমত রাস্ত করেন যে, সকল মৌলের পরমাণুই বিভিন্ন সংখ্যক হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বারা গঠিত। কিন্তু ক্লোরিন ( $A=35.46$ ), তামা ( $A=63.54$ ) প্রভৃতির মৌলের ক্ষেত্রে পারমাণবিক ভর পূর্ণসংখ্যা হইতে যথেষ্ট পারিমাণে পৃথক বলিয়া প্রাউটের প্রকল্পটি (Prout's hypothesis) বর্জিত হইল। আইসোটোপ আবিষ্কারের পর বুঝা গেল যে, কোন মৌলের রাসায়নিকভাবে নিরূপিত গড় পারমাণবিক ভর পূর্ণসংখ্যা হইতে যথেষ্ট ভিন্ন হইলেও বিভিন্ন মৌলের আইসোটোপগুলির পারমাণবিক ভর পূর্ণ সংখ্যার খুব কাছাকাছি। এই আবিষ্কারের পর বিজ্ঞানীরা পুনরায় প্রাউটের প্রকল্পটির পুনর্বিবেচনা করিতে লাগিলেন।

হাইড্রোজেনের পারমাণবিক ভর এক বলিয়া স্বাভাবিকভাবেই মনে হয় যে,  $A$ -ভর সংখ্যা-বিশিষ্ট কোন পরমাণুর কেন্দ্রক (nucleus)-এ  $A$ -সংখ্যক হাইড্রোজেন কেন্দ্রক বা প্রোটন থাকে। আবার কেন্দ্রকে  $A$ -সংখ্যক প্রোটন থাকিলে পরমাণুর বিভিন্ন কক্ষপথে  $A$ -সংখ্যক ইলেকট্রনও থাকিবে। কিন্তু রাদারফোর্ডের  $\alpha$ -কণা বিক্ষেপণ-সংক্রান্ত গবেষণা এবং মোজলের বৈশিষ্ট্যপূর্ণ এক্স-বিকিরণ (characteristic X-radiation)-সংক্রান্ত গবেষণা হইতে প্রমাণিত হইয়াছে যে, কোন মৌলের পরমাণুর ইলেকট্রন-সংখ্যা উহার পারমাণবিক সংখ্যা  $Z$ -এর সমান অর্থাৎ ইহার কেন্দ্রকের ধনাত্মক আধানের পরিমাণ  $Ze$  ( $e$ =ইলেকট্রনীয় আধান)। অধিকাংশ মৌলের ক্ষেত্রেই পারমাণবিক সংখ্যা  $Z$  উহার ভর-সংখ্যা  $A$  অপেক্ষা কম।

সুতরাং, পরমাণুর কেন্দ্রক কেবল  $A$ -সংখ্যক প্রোটন দ্বারা গঠিত ইহা ধরিয়া লইলে পরমাণুর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের সমতা ব্যাখ্যা করা যায় না। এই অসুবিধা দূর করিবার জন্য বিজ্ঞানী অ্যাস্টন অনুমান করেন যে,  $A$ -পারমাণবিক ভর-বিশিষ্ট মৌলের পরমাণুর কেন্দ্রকে  $A$ -সংখ্যক ধনাত্মক প্রোটন ছাড়াও ( $A - Z$ ) সংখ্যক ইলেকট্রন আছে। ইহাতে ( $A - Z$ )-সংখ্যক প্রোটনের ধনাত্মক আধান প্রশমিত হইবে এবং কেন্দ্রকে কার্যত কেবলমাত্র  $Z$  ইলেকট্রনীয় একক ধনাত্মক আধান থাকিবে।

প্রোটনের ভরের তুলনায় ইলেকট্রনের ভর নগণ্য বলিয়া কেন্দ্রকের মোট ভর A-সংখ্যক প্রোটনের ভরের কাছাকাছি হইবে। কেন্দ্রকের গঠন সম্বন্ধে এই তত্ত্বকে প্রোটন-ইলেকট্রন তত্ত্ব (proton-electron theory) বলা হয়।

কিন্তু এই তত্ত্বের কতকগুলি ত্রুটি রহিয়াছে। সূক্ষ্ম তাত্ত্বিক বিশ্লেষণ হইতে দেখান যায় যে, কেন্দ্রক (nucleus)-এ ইলেকট্রনের অবস্থান সম্ভব নয়। তেজস্ক্রিয় বিভাজনের সময় পরমাণুর কেন্দ্রক হইতে ইলেকট্রন নিসৃত হয়। ইহা কেন্দ্রকের গঠন সম্বন্ধীয় প্রোটন-ইলেকট্রন মতবাদকেই পরোক্ষভাবে সমর্থন করিতেছে এইরূপ মনে হইলেও বিজ্ঞানীরা এই সিদ্ধান্তে আসিয়াছেন যে, পরমাণুর কেন্দ্রকে ইলেকট্রন থাকে না, তেজস্ক্রিয় বিভাজনের সময়ই কেন্দ্রকে উহার সৃষ্টি হয় এবং তৎকণাৎ কেন্দ্রক হইতে  $\beta$ -কণা রূপে বাহির হইয়া আসে।

### ● কেন্দ্রকের গঠন সম্বন্ধে আধুনিক প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব :

কেন্দ্রকের গঠন সম্বন্ধে প্রোটন-ইলেকট্রন তত্ত্বের অসুবিধাগুলি বিবেচনা করিয়া রাদারফোর্ড এই অভিমত বাস্তব করিয়াছিলেন যে, সম্ভবত কেন্দ্রকের মধ্যে প্রোটন এবং ইলেকট্রন পরস্পর যুক্ত হইয়া একটি তড়িৎ-শূন্য কণার সৃষ্টি করে। 1932 খ্রীষ্টাব্দে রাদারফোর্ডের ছাত্র চ্যাডউইক এইরূপ তড়িৎ-হীন কণার অস্তিত্ব আবিষ্কার করেন। ইহার নাম দেওয়া হয় 'নিউট্রন'। নিউট্রন আবিষ্কৃত হওয়ার পর কেন্দ্রকের গঠন সম্বন্ধে নতুন তত্ত্ব গৃহীত হইয়াছে। এই তত্ত্ব-অনুসারে পরমাণুর কেন্দ্রক প্রোটন ও নিউট্রন দ্বারা গঠিত। Z পারমাণবিক সংখ্যা এবং A ভর-সংখ্যা বিশিষ্ট কেন্দ্রকে Z-সংখ্যক প্রোটন এবং (A - Z) সংখ্যক নিউট্রন থাকে। অর্থাৎ, পরমাণুর কেন্দ্রকের মোট কণিকার সংখ্যা ( অর্থাৎ, প্রোটন এবং নিউট্রনের সংখ্যা ) উহার ভর সংখ্যার সমান। প্রোটন ও নিউট্রনের ভর খুব কাছাকাছি বলিয়া কোন মৌলের পরমাণুর প্রকৃত ভর ও উহার ভর-সংখ্যা খুব কাছাকাছি হয়।

উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, প্রোটন বা ইলেকট্রনের ন্যায় নিউট্রনও একটি মৌল কণা (fundamental particle)। কেন্দ্রকের মধ্যে প্রোটন ও ইলেকট্রন মিলিত হইয়া নিউট্রন গঠিত হয়, রাদারফোর্ডের এই মতবাদ আধুনিক বিজ্ঞানীরা স্বীকার করেন না। কেন্দ্রকের মধ্যবর্তী প্রোটন এবং নিউট্রনগুলিকে নিউক্লিয়ন (nucleon) বলা হয়। বর্তমান ধারণা অনুসারে প্রোটন এবং নিউট্রন একই নিউক্লীয় কণা নিউক্লিয়নের দুইটি ভিন্ন রূপ। প্রোটন হইল নিউক্লিয়নের আধানবাহী রূপ এবং নিউট্রন হইল ইহার আধানহীন রূপ।

কোন মৌল X-এর পারমাণবিক সংখ্যা Z এবং ভর-সংখ্যা A হইলে উহাকে নিম্নরূপে সূচিত করা হয় :



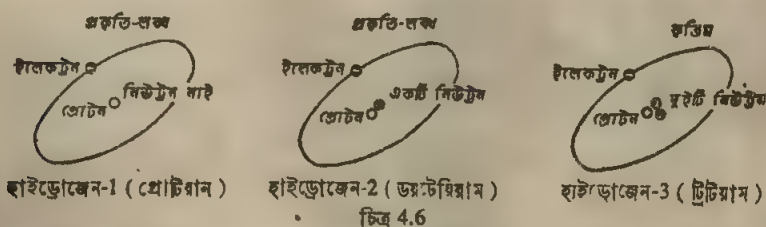
উদাহরণস্বরূপ,  ${}_{92}^{238}\text{U}$  একটি ইউরেনিয়াম পরমাণু সূচিত করে। এই পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা 92 এবং ভর-সংখ্যা 238।

#### 4.10 কোন মৌলের বিভিন্ন আইসোটোপের গঠনের পার্থক্য

পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদে বলা হইয়াছে যে, পরমাণুর কেন্দ্রকে দুইটি মাত্র কণা থাকে, যথা—(i) প্রোটন এবং (ii) নিউট্রন। কেন্দ্রকের প্রোটনের সংখ্যা পরমাণুর কক্ষস্থিত ইলেকট্রনের সংখ্যার সমান। অর্থাৎ, কোন মৌলের পরমাণুর প্রোটনের সংখ্যা ও ইলেকট্রনের সংখ্যা উহার পারমাণবিক সংখ্যা  $Z$ -এর সমান। আমরা জানি, যে-সকল পরমাণুর কক্ষস্থিত ইলেকট্রনের সংখ্যা অভিন্ন উহার রাসায়নিকভাবে সমধর্মী। অর্থাৎ যে-সকল পরমাণুর কেন্দ্রকের প্রোটন সংখ্যা ( অর্থাৎ, পারমাণবিক সংখ্যা ) সমান উহার একই মৌলের পরমাণু। এক্ষেত্রে লক্ষণীয় যে, একই মৌলের ক্ষেত্রে প্রোটনের সংখ্যা অপরিবর্তিত থাকিলেও কেন্দ্রকে নিউট্রনের সংখ্যা বিভিন্ন হইতে পারে। নিউট্রন সংখ্যার তারতম্যের ফলে ইহাদের পারমাণবিক ভরের তারতম্য হইবে; কিন্তু প্রোটন সংখ্যা এক থাকায় ইহাদের রাসায়নিক ধর্ম অভিন্ন হইবে।

একই মৌলের বিভিন্ন ভর-বিশিষ্ট পরমাণুগুলিকে আইসোটোপ বলা হয়। কোন মৌল  $X$ -এর আইসোটোপকে সাধারণত ইহার পারমাণবিক সংখ্যা  $Z$  এবং ভর-সংখ্যা  $A$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সাধারণত, মৌলের প্রতীকিচহ্নের বামপার্শ্বে নিচের দিকে লেখা থাকে ইহার পারমাণবিক সংখ্যা এবং ডানদিকের প্রতীকিচহ্নের উপরের দিকে লেখা থাকে ইহার ভর-সংখ্যা ( ${}_Z X^A$ )। উদাহরণস্বরূপ,  ${}_{92}U^{235}$  শিলিতে আমরা 92 পারমাণবিক সংখ্যাসম্পন্ন এবং 235 ভর-সংখ্যাসম্পন্ন একটি ইউরেনিয়াম পরমাণু বুঝি।  ${}_{92}U^{238}$  ইউরেনিয়ামের অপর একটি আইসোটোপের পরমাণু। ইহারও পারমাণবিক সংখ্যা 92, কিন্তু ভর-সংখ্যা 238।

হাইড্রোজেনের তিনটি আইসোটোপ আছে। ইহাদের মধ্যে দুইটি প্রকৃতিজন্য এবং একটি কৃত্রিমভাবে উৎপন্ন। হাইড্রোজেনের যে-আইসোটোপের প্রাচুর্য বেশি উহার পরমাণুগুলির কেন্দ্রক একটি প্রোটন দ্বারা গঠিত। এই আইসোটোপের কেন্দ্রকে কোন নিউট্রন থাকে না। হাইড্রোজেনের এই আইসোটোপকে প্রোটিয়াম



(protium) বা হাইড্রোজেন-1 বলা হয় (চিত্র 4.6)। হাইড্রোজেনের অপর প্রকৃতিজন্য আইসোটোপের নাম ডয়টেরিয়াম (deuterium) বা হাইড্রোজেন-2। ইহার

কেন্দ্রকে একটি প্রোটন এবং একটি নিউট্রন থাকে। হাইড্রোজেনের অপর আইসোটোপটি কৃত্রিম উপায়ে উৎপন্ন করা যায়। ইহার কেন্দ্রকে থাকে একটি প্রোটন ও দুইটি নিউট্রন। হাইড্রোজেনের এই আইসোটোপকে ট্রিটিয়াম (tritium) বা হাইড্রোজেন-3 বলা হয়।

#### 4.11 নিউক্লীয় আকর্ষণী বলের প্রকৃতি (Nature of nuclear force)

স্বাভাবিকভাবে প্রশ্ন উঠে, 'পরমাণুর কেন্দ্রকের মধ্যে প্রোটন এবং নিউট্রনগুলি পরস্পরের সহিত সুদৃঢ়ভাবে সংবদ্ধ থাকে কিরূপে?' প্রোটনগুলি ধনাত্মক আধানবাহী, কাজেই ইহাদের মধ্যে পারস্পরিক কুলম্বীয় বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করিবার কথা। নিউট্রনগুলি আধানহীন বলিয়া ইহাদের মধ্যে কোনরূপ কুলম্বীয় বল নাই। কেন্দ্রকের নিউট্রন এবং প্রোটনগুলির সুদৃঢ় বন্ধন মহাকর্ষজনিত বলের জন্যও হইতে পারে না, কেননা এই বলের মান খুবই কম। কেন্দ্রকের নিউক্লিয়নগুলির দৃঢ় সংবদ্ধতার ব্যাখ্যা করিবার জন্য অপর এক প্রকার বলের অস্তিত্ব স্বীকার করিয়া লইতে হয়। ইহাকে নিউক্লীয় বল (nuclear force) বলা হয়। নিউক্লিয়নগুলির পারস্পরিক দূরত্ব খুব কম হইলেই এই বল ক্রিয়াশীল এবং প্রবল হয়। নিউক্লিয়নগুলির দূরত্ব একটি নির্দিষ্ট দূরত্বসীমা (range) অপেক্ষা বেশি হইলে নিউক্লীয় বলের মান উপেক্ষণীয় হইয়া যায়। অর্থাৎ, কেন্দ্রকের নিউক্লিয়নগুলির মধ্যে অতি নিম্ন দূরত্বসীমা (short range) সম্পন্ন একটি প্রখর আকর্ষণী বল ক্রিয়া করে। 1935 খ্রীষ্টাব্দে জাপানী বিজ্ঞানী ইউকাওয়া (H. Yukawa) সর্বপ্রথম এই বলের প্রকৃতি সম্বন্ধে একটি গাণিতিক তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। এইজন্য এই বলকে ইউকাওয়া বলও আখ্যা দেওয়া হয়।

ইউকাওয়ার তত্ত্বানুসারে নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরস্থ নিউক্লিয়নগুলি পরস্পরের মধ্যে এক প্রকার কণিকার আদান-প্রদান (exchange) করে। এই কণিকার ভর ইলেকট্রন এবং প্রোটনের ভরের মাঝামাঝি। এই কণিকার আদান-প্রদানের ফলে নিউক্লিয়নগুলির মধ্যে একটি প্রবল বিনিময় বল (exchange force)-এর উদ্ভব হয়। এই বলই নিউক্লিয়নগুলিকে কেন্দ্রকের মধ্যে দৃঢ়ভাবে সংবদ্ধ রাখে।

ইউকাওয়া যখন তাঁহার তত্ত্ব প্রকাশ করেন তখন এইরূপ কণিকার অস্তিত্বের কথা জানা ছিল না। নিউক্লীয় বলের প্রকৃতি ব্যাখ্যার প্রয়োজনে ইউকাওয়া এই কণিকার অস্তিত্ব কল্পনা করিয়াছিলেন। ইউকাওয়ার তত্ত্ব প্রকাশিত হইবার বছর দুই পর মহাজাগতিক রশ্মি (cosmic rays)-সংক্রান্ত গবেষণাকালে এইরূপ একপ্রকার কণিকা আবিষ্কৃত হয়। বর্তমানে এই কণাগুলিকে মেসন (mesons) নামে অভিহিত করা হয়। প্রথমে যে-মেসন কণা আবিষ্কৃত হয় তাহাকে  $\pi$ -মেসন বলা হয়। 1947 খ্রীষ্টাব্দে আর এক প্রকার মেসন কণা আবিষ্কৃত হইয়াছে, ইহাদিগকে  $\pi$ -মেসন বলা হয়। আধুনিক মতবাদ অনুসারে,  $\pi$ -মেসনগুলিই নিউক্লীয় আকর্ষণী বলের জন্য



দায়ী। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক—উভয় প্রকার তড়িৎ-বাহী মেসনই দেখিতে পাওয়া যায়। ইহা ছাড়া, আধানহীন  $\pi^0$  মেসন-এর অস্তিত্বও প্রমাণিত হইয়াছে। ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক—এই দুই প্রকার আধানবাহী মেসনের আধানের পরিমাণই ইলেকট্রনীয় আধানের সমান। ইউকাওয়ার প্রস্তাবনা অনুযায়ী কেন্দ্রকের অভ্যন্তরস্থ নিউক্লিয়নগুলি পরস্পরের মধ্যে আহিত ও অনাহিত  $\pi$ -মেসন বিনিময় করে। পরীক্ষাগারে  $\pi$ -মেসনের অস্তিত্ব নিঃসংশয়ে প্রমাণিত হইবার পর ইউকাওয়া তাঁহার এই তত্ত্বের জন্য নোবেল পুরস্কার লাভ করেন।

### ইলেকট্রন-প্রতিরূপ

ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর বিজ্ঞানী টমসন পরমাণুর একটি প্রতিরূপ (model) প্রস্তাব করেন। কিন্তু এই প্রতিরূপের সাহায্যে রাদারফোর্ডের  $\alpha$ -কণার বিক্ষেপণ-সংক্রান্ত পরীক্ষার ফলাফল ব্যাখ্যা করা গেল না। এই পরীক্ষার ফলাফল ব্যাখ্যা করিতে গিয়া রাদারফোর্ড পরমাণুর গঠনশৈলী সম্পর্কে নূতন চিন্তার সূচনা করেন। তিনি প্রথম বলেন যে, পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে আছে ধনাত্মক তড়িদাহিত নিউক্লিয়াস এবং ইহার চারিদিকে আছে প্রদক্ষিণরত ইলেকট্রনগুলি। বিজ্ঞানী নীলস বোর রাদারফোর্ডের পরমাণু মতবাদের অসঙ্গতি দূর করেন এবং কয়েকটি যুগান্তকারী স্বীকারের ভিত্তিতে নূতন মতবাদের প্রস্তাবনা করেন। বোর তাঁহার পরমাণু-তত্ত্বের সাহায্যে হাইড্রোজেন বর্ণালীর ব্যাখ্যা করিতে সমর্থ হন। বোরের তত্ত্বের স্বীকার্যগুলি নিম্নরূপ।

প্রথম স্বীকার্য : ইলেকট্রনগুলি কয়েকটি নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের কক্ষপথেই নিউক্লিয়াসকে আবর্তন করিতে পারে। এই কক্ষপথগুলিকে স্থায়ী কক্ষ বলা হয়।

দ্বিতীয় স্বীকার্য : ইলেকট্রন যতক্ষণ স্থায়ী কক্ষপথে থাকে ততক্ষণ পরমাণু হইতে কোন তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ নিঃসৃত হয় না।

তৃতীয় স্বীকার্য : যখন নির্দিষ্ট স্থায়ী কক্ষপথ হইতে নিম্নবর্তী কোন স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হয় তখন পরমাণু হইতে নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের ফোটন-কণা নিঃসৃত হয়।

$n$ -তম কক্ষপথ হইতে  $n_1$ -কক্ষপথে ( $n_2 > n_1$ ) ইলেকট্রনের সংক্রমণ ঘটিলে নিঃসৃত বিকিরণের কম্পাঙ্ক  $\nu$ -এর মান মান কত হইবে তাহা নিম্নের সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় :

$$\nu = \frac{2\pi^2 Z^2 me^4}{ch^3} \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$$

এখানে  $Z$  = পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা,  $m$  = ইলেকট্রনের ভর,  $e$  = ইলেকট্রনের আধান,  $c$  = আলোর বেগ, এবং  $h$  = প্রাকের ধ্রুবক।

যে-সকল পরমাণুর পরমাণু-ক্রমাঙ্ক অভিন্ন কিন্তু পারমাণবিক ভর ভিন্ন উহাদিগকে একস্থানিক বা আইসোটোপ বলা হয়।

প্রশ্নমালা 4

কৃষোত্তর প্রশ্নাবলী

1. সৌরজগতের গঠনের সহিত পরমাণুর গঠনের সাদৃশ্য এবং বৈসাদৃশ্য কী? সংক্ষেপে আলোচনা কর।
  2. "পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াস হইতে যে-কোন দূরত্বে থাকিতে পারে না; কয়েকটি নির্দিষ্ট কক্ষপথে থাকিতে পারে।" উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।
  3. উত্তোজিত পরমাণু হইতে নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ নিঃসৃত হয় কীরূপে? যোথের তত্ত্বের আলোকে ব্যাখ্যা কর।
  4. হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রনের প্রথম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ  $r_1$  হইলে ইহার দ্বিতীয় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ কত?
  5. হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি  $-13.6 \text{ eV}$  হইলে উহার দ্বিতীয় এবং তৃতীয় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি কত হইবে?
  6. যদিও হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটিমাত্র ইলেকট্রন আছে, তথাপি হাইড্রোজেন বর্ণালীতে বহুসংখ্যক বর্ণালী রেখা পাওয়া যায় কেন ব্যাখ্যা কর।
- [ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ]
7. হাইড্রোজেন পরমাণুর ওজনকে একক ধরিয়া দেখা যায় যে, নিউটন এবং প্রোটন—উভয়েই একক ওজনসম্পন্ন। ইলেকট্রনের ওজন উপেক্ষণীয়। তথাপি পরিমাপ করিয়া দেখা যায় যে, ক্লোরিনের পারমাণবিক ওজন একটি ভগ্ন-সংখ্যা (fractional number)। ইহার কারণ কী?
  8. হাইড্রোজেন পরমাণুর কার্যকর ব্যাসার্ধ অপেক্ষা হিলিয়াম পরমাণুর কার্যকর ব্যাসার্ধ কম কেন?
  9. হাইড্রোজেন পরমাণুর ওজনকে একক ধরিয়া দেখা যায় যে, নিউটন এবং প্রোটন—উভয়েই একক ওজনবিশিষ্ট। ইলেকট্রনের ওজন উপেক্ষণীয়। তথাপি পরিমাপ করিয়া দেখা যায় যে, ক্লোরিনের পারমাণবিক ওজন একটি ভগ্ন-সংখ্যা। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর। কার্বনের ক্ষেত্রেও কি অনুরূপ ব্যাপার লক্ষ্য করা যায়?
  10. ক্লোরিনের প্রোটন-সংখ্যা 17 এবং প্রকৃতিতে ইহাকে যে-অবস্থায় পাওয়া যায়, সেই অবস্থায় ইহার আপেক্ষিক আণবিক ভর 35.5। ক্লোরিনের দুইটি আইসোটোপ আছে—ইহাদের নিউক্লিয়ন সংখ্যা 35 এবং 37। প্রদত্ত উপাত্তগুলি হইতে অতিরিক্ত কী জানা যায়? প্রকৃতিলব্ধ ক্লোরিনে ইহার দুই আইসোটোপের আপেক্ষিক প্রাচুর্য নির্ণয় কর।

নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

11. রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল সম্বন্ধে কী জান? ইহার দুটিগুলি লিখ। বোরের তত্ত্বে কীরূপে এই দুটিগুলি দূর করা হয়? [ উচ্চ মাধ্যমিক (পশ্চিমবঙ্গ), 1982 ]
  12. বোর রাদারফোর্ড কম্পিত পরমাণু চিত্রের বর্ণনা দাও। বোর কম্পিত-সীকাতগুলি লিখ। বোরের তত্ত্ব দ্বারা বর্ণালী রেখার উৎপত্তি কীভাবে ব্যাখ্যা করা যায়? (H. S. 1979)
  13. পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে বোরের স্বীকার্যগুলি (postulates) উল্লেখ কর। বোরের কোয়ান্টাম শর্ত এবং কম্পাক্ষ শর্ত বিবৃত কর।
  14. পরমাণুর কেন্দ্রীন তত্ত্বটি কী? হাইড্রোজেন পরমাণুর সম্বন্ধে বোরের তত্ত্বটি আলোচনা কর।
- ( সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 )

15. বোরের তত্ত্ব হইতে হাইড্রোজেন পরমাণুর  $n$ -তম কক্ষে বিদ্যমান ইলেকট্রনের শক্তির মান নির্ণয় কর। একটি ইলেকট্রন  $m$ -তম কক্ষ হইতে  $n$ -তম কক্ষপথে ( $m > n$ ) লাফাইয়া পড়িলে যে-বিকিরণ নিঃসৃত হয় তাহার কম্পাঙ্ক কত?

16. বোরের তত্ত্ব হইতে কীভাবে হাইড্রোজেন বর্ণালীর ব্যাখ্যা করা যায় লিখ। কেন্দ্রকের গঠন সংক্ষেপে আলোচনা কর।

কোন পরমাণুর ভর-সংখ্যা এবং পারমাণবিক ক্রমাঙ্ক যথাক্রমে 100 এবং 52। ইহার কেন্দ্রকের উপাদানগুলি কী কী? ( সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980 )

17. (a) সংজ্ঞা লিখ: পরমাণু ক্রমাঙ্ক, ভরসংখ্যা, আইসোটোপ। (b) ভারী জল বলিতে কী বুঝ? (c)  ${}_8\text{O}^{16}$ ,  ${}_8\text{O}^{17}$  এবং  ${}_8\text{O}^{18}$ —এই সংকেত তিনটি হইতে কী কী তথ্য পাওয়া যায়? [ উচ্চ মাধ্যমিক (দ্বিপত্র), 1982 ]

(d) পরমাণুর কেন্দ্রকের মধ্যে প্রোটন ও নিউট্রনগুলি পরস্পরের সহিত সুদৃঢ়ভাবে সংবন্ধ থাকে কীভাবে তাহা সংক্ষেপে আলোচনা কর।

18. পারমাণবিক সংখ্যা, ভরসংখ্যা এবং আইসোটোপ বলিতে কী বুঝ? নিভুলভাবে পারমাণবিক ভর মাপিবার উপযোগিতা ব্যাখ্যা কর। পারমাণবিক ভর পরিমাপের পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর। হাইড্রোজেন ও ডার্টেরিয়ামের পার্থক্য কী? এই পার্থক্য উহাদের রাসায়নিক ধর্মকে প্রভাবিত করিবে কি? ( সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 )

19. পরমাণুর কেন্দ্রকের গঠন সম্বন্ধে আধুনিক মতবাদটি আলোচনা কর। নিউক্লীয় আকর্ষণী বলের প্রকৃতি সম্বন্ধে বাহ্যিক জ্ঞান লিখ।

20. টীকা লিখ: (i) ধনাত্মক রশ্মি, (ii) আইসোটোপ, (iii) বোরের তত্ত্ব, (iv) নিউক্লীয় আকর্ষণী বল।

### গাণিতিক প্রশ্নাবলী

21. 'ক্লোরিনের প্রোটন সংখ্যা 17 এবং প্রকৃতিলব্ধ ক্লোরিনের আপেক্ষিক আণবিক ভর 35.5। ক্লোরিনের দুইটি আইসোটোপ আছে, ইহাদের নিউক্লিয়ন সংখ্যা 35 এবং 37।' প্রদত্ত উপাত্তগুলি হইতে অতিরিক্ত কী জানা যায়? প্রকৃতিলব্ধ ক্লোরিনে ইহার দুই আইসোটোপের আপেক্ষিক প্রাচুর্য নির্ণয় কর। [3 : 1]

22. কোন উত্তেজিত হাইড্রোজেন পরমাণুর চতুর্থ কক্ষ হইতে কোন ইলেকট্রন উহার দ্বিতীয় কক্ষে লাফাইয়া পড়িলে ঐ পরমাণু হইতে যে-বিকিরণ নিঃসৃত হইবে তাহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের মান নির্ণয় কর। ধরিয়া লও যে,  $h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-sec}$ ,  $m = 9.11 \times 10^{-28} \text{ gm}$ ,  $e = 4.803 \times 10^{-10} \text{ e. s. u.}$  এবং  $c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$ ।

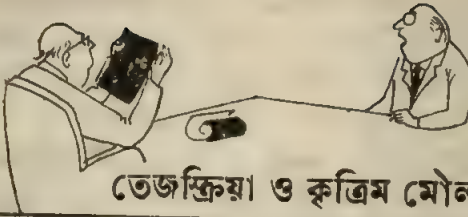
(  $\lambda = 4860 \text{ Å}$  (প্রায়) )

23. হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় ও তৃতীয় স্থায়ী কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। প্রয়োজনীয় উপাত্তগুলি 22 নং প্রশ্ন হইতে দেখিয়া লও।

[  $2.2 \times 10^{-8} \text{ cm}$  এবং  $4.74 \times 10^{-8} \text{ cm}$  ]

24. পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনসংক্রান্ত বোরের কম্পিত স্বীকার্যগুলি লিখ। বোরের তত্ত্ব দ্বারা কীভাবে বর্ণালী রেখার উৎপত্তির ব্যাখ্যা করা যায়? হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি  $-13.6$  ইলেকট্রন-ভোল্ট হইলে ইহার দ্বিতীয় বোর কক্ষপথে হইতে প্রথম কক্ষপথের ইলেকট্রন সংক্রমণের ফলে নিঃসৃত ফোটনের শক্তি কত হইবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1983 ]



## তেজস্ক্রিয়া ও কৃত্রিম মৌলান্তর

*Truth is by nature intolerant, exclusive, for every truth is the denial of its opposing error.*

—Luthardt

### 5.1 তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার

রস্টগেন-কর্তৃক এক্স-রশ্মি আবিষ্কৃত হইবার মাত্র কয়েক মাস পর ১৮৯৬ খ্রীস্টাব্দে ফরাসী বিজ্ঞানী আঁরি বেকরেল (Henri Becquerel) আকস্মিকভাবে তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার করেন। সূর্যরশ্মির প্রভাবে ইউরেনিয়াম পটাসিয়াম সালফেটে যে-অনুপ্রভা সৃষ্টি হয় তাহার সাহিত এক্স-রশ্মির প্রভাবে কাচের প্রতিপ্রভার কোনরূপ সাদৃশ্য আছে কিনা তাহা লইয়া বিজ্ঞানী বেকরেল গবেষণা করিতেছিলেন। তিনি কালো কাগজে মুড়িয়া কিছু পরিমাণ ইউরেনিয়াম পটাসিয়াম সালফেট একটি ড্রয়ারের মধ্যে রাখিয়া-ছিলেন। ড্রয়ারে কালো কাগজে মোড়া কয়েকটি ফটোগ্রাফিক প্লেটও ছিল। কিছুদিন পর ড্রয়ার হইতে ফটোগ্রাফিক প্লেটগুলি বাহির করিয়া তিনি লক্ষ্য করেন যে, প্লেটগুলিতে প্রতিক্রিয়া ঘটিয়াছে। কালো কাগজে মোড়া থাকি সত্ত্বেও এইরূপ হইল কেন ইহা অনুসন্ধান করিতে গিয়া তিনি এই সিদ্ধান্তে উপনীত হইলেন যে, ইউরেনিয়াম-ঘটিত পদার্থ হইতে এমন একটি শক্তিশালী বিকিরণ নিঃসৃত হয় যাহা কালো কাগজের আবরণ ভেদ করিয়াও ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া ঘটাইতে পারে। তাহার অনুমান সত্য কিনা যাচাই করিবার জন্য বেকরেল নানারূপ পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিলেন এবং দেখিলেন যে, ইউরেনিয়ামের সকল যৌগ হইতেই এইরূপ বিকিরণ নির্গত হয়। আবিষ্কৃত নামানুসারে প্রথম এই বিকিরণকে বলা হইয়াছিল ‘বেকরেল রশ্মি’ (Becquerel rays)। পরে দেখা গেল যে, কেবল ইউরেনিয়ামই নয়, অন্যান্য অনেক মৌল হইতেই এইরূপ রশ্মি নিঃসৃত হয়। তখন এই রশ্মির নামকরণ করা হয় ‘তেজস্ক্রিয় রশ্মি’ (Radioactive rays) এবং বিভিন্ন মৌল-কর্তৃক তেজস্ক্রিয় রশ্মি নিঃসরণকে বলা হয় তেজস্ক্রিয়তা (radioactivity)।

বেকরেলের আবিষ্কারের পর বিশ্বের বিভিন্ন গবেষণাগারে তেজস্ক্রিয়তা লইয়া গবেষণা শুরু হইল। প্যারিসে মাদাম মারী কুরী ও তাহার স্বামী পিয়ের কুরী এই বিষয়ে গবেষণা শুরু করেন। মারী কুরী তখন প্যারিসের সর্বোদ (Sorbonne) বিশ্ববিদ্যালয়ে রসায়নের গবেষণারতা ছাত্রী। বেকরেলের আবিষ্কারের পর তিনি



বেকরেল রশ্মির উৎস সম্বন্ধে অনুসন্ধানে উৎসাহী হইলেন। তিনি তাঁহার স্বামী পদার্থবিদ পিয়ের কুরীকে ঐ গবেষণা প্রকল্পে তাঁহার সহিত যোগ দিতে রাজী করান। পিয়ের কুরী তাঁহার নিজস্ব গবেষণা স্থগিত রাখিয়া মাদাম কুরীর সহিত বেকরেল রশ্মি লইয়া গবেষণা শুরু করেন। মাদাম কুরী লক্ষ্য করেন যে, ইউরেনিয়ামের একটি আকরিক পিচ ব্লেন্ড (pitch blend) বিশুদ্ধ ইউরেনিয়াম অপেক্ষা অনেক গুণ বেশী সক্রিয়। ইহা হইতে তিনি এ সম্বন্ধে নিশ্চিত হইলেন যে, পিচ ব্লেন্ডে ইউরেনিয়াম ছাড়া এমন কোন পদার্থ আছে যাহা তেজস্ক্রিয়তায় ইউরেনিয়াম অপেক্ষাও সক্রিয়। বহুকাল অক্লান্ত গবেষণা করিয়া কুরী-দম্পতি পিচ ব্লেন্ড হইতে একটি নূতন মৌল নিষ্কাশন করিতে সমর্থ হইলেন। পোল্যাণ্ড-দ্বিতা মাদাম কুরী তাঁহার মাতৃভূমির নামানুসারে নবাবিষ্কৃত এই মৌলের নাম রাখিলেন পোলোনিয়াম (polonium)। ইহার পাঁচ মাস পর তাঁহারা র‍্যেডিয়াম (radium) নামক আর একটি নূতন মৌল আবিষ্কার করেন। ইহার তেজস্ক্রিয়তা সম-পরিমাণ ইউরেনিয়াম অপেক্ষা দশ লক্ষ গুণ বেশী।

ইহার পর থোরিয়াম, অ্যাক্টিনিয়াম, টাইটেনিয়াম ইত্যাদি নানা পদার্থে তেজস্ক্রিয়তার সন্ধান পাওয়া গেল। বর্তমানে আমরা প্রায় 40টি প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় পদার্থের কথা জানি। ইহারা প্রধানত উচ্চ পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট (48 হইতে 92) মৌল। ইহাদের অনেকেই একস্থানিক (isotopic), কিন্তু তেজস্ক্রিয়তা ধর্মে বিভিন্ন। অন্যান্য মৌলের মধ্যে পটাসিয়াম, রুবিডিয়াম, সামারিয়াম, কার্বন এবং আরও কয়েকটি পদার্থে সামান্য পরিমাণ তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সন্ধান পাওয়া গিয়াছে।

## 5.2 তেজস্ক্রিয় রশ্মির স্বরূপ

তেজস্ক্রিয়তার স্বরূপ উদ্ঘাটনে বিজ্ঞানী রাদারফোর্ডের গবেষণা সর্বাপেক্ষা উল্লেখযোগ্য। রাদারফোর্ড, ভিলার্ড, মাদাম কুরী প্রমুখ বিজ্ঞানীদের গবেষণা হইতে নিঃসংশয়ে প্রমাণিত হইয়াছে যে, তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে তিন প্রকার রশ্মি নির্গত হয়। ইহাদের নামকরণ করা হইয়াছে— $\alpha$ -রশ্মি,  $\beta$ -রশ্মি এবং  $\gamma$ -রশ্মি। তেজস্ক্রিয় বিকিরণে আলফা-রশ্মি এবং বিটা-রশ্মির অস্তিত্ব আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড এবং গামা-রশ্মির অস্তিত্ব আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী ভিলার্ড।

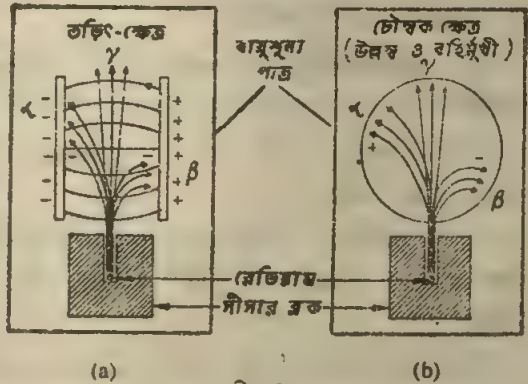
ইহাদের মধ্যে  $\alpha$ -রশ্মি ও  $\beta$ -রশ্মি তড়িৎ-বাহী।  $\alpha$ -কণাগুলি ধনাত্মক তড়িৎ-বাহী। ইহাদের আধানের পরিমাণ ইলেকট্রনের আধানের দ্বিগুণ। ইহাদের ভর হাইড্রোজেনের পরমাণুর ভরের চারগুণ।  $\beta$ -রশ্মি ঋণাত্মক তড়িৎবাহিত কণার সমষ্টি। ইহারা প্রকৃতপক্ষে ইলেকট্রন।  $\gamma$ -রশ্মি আলোর ন্যায় এক প্রকার তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ, তবে দৃশ্যমান আলোর তুলনায় ইহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অনেক কম।

তেজস্ক্রিয় রশ্মি হইতে যে-তিনটি বিভিন্ন প্রকার রশ্মি নির্গত হয় তাহা নিম্নের পরীক্ষা হইতে দেখান যায়। একটি সীসার ব্লকে একটি সরু লম্বা ছিদ্র করিয়া উহাতে

কিছু পরিমাণ রেডিয়াম রাখা হইল (চিত্র 5.1)। ইহার ফলে রেডিয়াম হইতে তেজস্ক্রিয় রশ্মিগুচ্ছ সরলরেখা বরাবর (স্থির সমান্তরাল) বাহির হইয়া আসিবে, কেননা, যে-সকল বিকিরণ সীমার দেওয়ালে আঘাত করিবে উহার সীমা-কর্তৃক শোষিত হইয়া যাইবে। এই রশ্মিগুচ্ছকে দুইটি সমান্তরাল পাতের মধ্যবর্তী তড়িৎ-ক্ষেত্র দিয়া পাঠাইলে কিংবা উহার গতিপথের সহিত লম্বভাবে ক্রিয়াশীল কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্য দিয়া পাঠাইলে উহার তিনভাগে বিভক্ত হইয়া যাইবে। অককারে ভিক্স সালফাইড প্রলেপযুক্ত প্লেট-এর উপর এই রশ্মিগুলি আপতিত হইলে ঐ প্লেট প্রতিপ্রভার সৃষ্টি হইবে। এইরূপ প্লেটের সাহায্যে পরীক্ষা করিয়া দেখান যায় যে, চৌম্বক বা তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবে তেজস্ক্রিয় রশ্মি তিন ভাগে ভাগ হইয়া যায়।

মাদাম কুরী একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট ব্যবহার করিয়া তেজস্ক্রিয় বিকিরণে তিনটি রশ্মির অস্তিত্ব প্রমাণ করেন। তাহার পরীক্ষা-ব্যবস্থাটি 5.1 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। এই পরীক্ষায় তেজস্ক্রিয় বিকিরণ একটি তড়িৎ-ক্ষেত্রের বা একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে দিয়া গিয়া একটি ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর পড়ে। সমগ্র ব্যবস্থাটি একটি বায়ু-নিরুদ্ধ প্রকোষ্ঠে রাখিয়া বায়ু-নিষ্কাশক পাম্পের সাহায্যে প্রকোষ্ঠটিকে বায়ুশূন্য করা হয়। 5.1 নং চিত্রে রেডিয়াম হইতে নিঃসৃত তেজস্ক্রিয় বিকিরণ কাগজের তল দিয়া যাইতেছে। 5.1(a)

চিত্রে তেজস্ক্রিয় রশ্মির উপর তড়িৎ-ক্ষেত্রের ক্রিয়া দেখান হইয়াছে। দুইটি সমান্তরাল ধাতব পাতকে নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্যে রাখিয়া এই তড়িৎ-ক্ষেত্র সৃষ্টি করা হয়। এই তড়িৎ-ক্ষেত্রের মধ্য দিয়া যাইবার পর তেজস্ক্রিয় রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটে



চিত্র 5.1

আপতিত হয়। 5.1(b) নং চিত্রে তেজস্ক্রিয় রশ্মির উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব দেখান হইয়াছে। রেডিয়াম হইতে নিঃসৃত তেজস্ক্রিয় রশ্মির উপর যে-চৌম্বক ক্ষেত্র ক্রিয়া করিতেছে তাহার অভিমুখ কাগজের তলের অভিলম্ব বরাবর এবং বহির্মুখী। তেজস্ক্রিয় বিকিরণ চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্য দিয়া গিয়া ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর পড়িবে। কিছুক্ষণ তেজস্ক্রিয় বিকিরণ সম্প্রাপ্তের (exposure to radioactive rays) পর ফটোগ্রাফিক প্লেটটি ডেভেলপ করিলে উহার তিনটি স্থানে দাগ দেখা যাইবে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, তেজস্ক্রিয় বিকিরণে তিন প্রকার রশ্মি রহিয়াছে।

চৌম্বক ক্ষেত্র ও তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবে একটি রশ্মি ডানদিকে এবং অপর একটি রশ্মি বামদিকে বাঁকিয়া যায় বলিয়া বুঝা যাইতেছে যে, ইহারা তড়িৎ-গ্রস্ত। কিন্তু তৃতীয় রশ্মিটি চৌম্বক ক্ষেত্র বা তড়িৎ-ক্ষেত্র দ্বারা প্রবাহিত হয় না, কাজেই, উহা তড়িৎ-গ্রস্ত কণার দ্বারা গঠিত নয়। তড়িৎ-ক্ষেত্রে যে-রশ্মি ঋণাত্মক প্লেটের দিকে বাঁকিয়া যায় তাহা ধনাত্মক তড়িৎ-কণা দ্বারা গঠিত এবং যে-রশ্মিটি ধনাত্মক প্লেটের দিকে বাঁকিয়া যায় তাহা ঋণাত্মক তড়িৎ-কণার দ্বারা গঠিত। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে, ধনাত্মক  $\alpha$ -কণা হইতে ঋণাত্মক  $\beta$ -কণাগুলি অনেক বেশি বাঁকিয়া যায়। ইহা হইতে এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, ধনাত্মক-তড়িৎদাহিত কণা অপেক্ষা ঋণাত্মক তড়িৎদাহিত কণাগুলি অনেক বেশি হালকা। যে-রশ্মিটি চৌম্বক বা তড়িৎ-ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না তাহার ধর্ম অনুসন্ধান করিলে বুঝা যায় যে, ইহা আলোর ন্যায় তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণ ভিন্ন কিছু নয়।

### 5.3 তেজস্ক্রিয় রশ্মিসমূহের ধর্মাবলী

(Properties of radioactive rays)

তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে নিঃসৃত তিনটি রশ্মির ধর্মাবলী নিম্নে আলোচিত হইল।

(a) আলফা-কণার ধর্মাবলী :

(i) আলফা-কণাগুলি ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত। ইহাদের ধনাত্মক আধানের মান ইলেকট্রনের আধানের মানের দুইগুন।

(ii) আলফা-কণার ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের চারগুন এবং হিলিয়াম পরমাণুর ভরের সমান।

(iii) উপরি-উক্ত ধর্ম হইতে সহজেই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে,  $\alpha$ -কণা প্রকৃত-পক্ষে হিলিয়াম পরমাণুর কেন্দ্রক। পরীক্ষার সাহায্যে এই অনুমান সমর্থিত হইয়াছে।

(iv) ইহারা গ্যাসের আয়নায়ন (ionisation) সৃষ্টি করিতে পারে। বায়ুতে আয়নায়ন সৃষ্টি করিবার সময় দেখা যায় যে, বায়ুর মধ্য দিয়া একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব যাইবার পর ইহার আয়নায়ন ক্ষমতা লোপ পায়। এই দূরত্বকে  $\alpha$ -কণার পথসীমা (range) বলা হয়। বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় রশ্মি হইতে নিঃসৃত  $\alpha$ -কণার পথসীমা বিভিন্ন। বিজ্ঞানী গাইগার ও নাটাল দেখাইয়াছেন যে, যে-তেজস্ক্রিয় পদার্থ যত তাড়াতাড়ি ভাঙিয়া যায় সেই পদার্থ হইতে নিঃসৃত  $\alpha$ -কণার পথসীমা তত বেশি।

(v) ইহারা ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে।

(vi) ইহারা তড়িৎদাহিত বলিয়া তড়িৎ-ক্ষেত্র এবং চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করিয়া ইহাদিগকে বিচ্যুত করা যায়।

(vii) জিঙ্ক সালফাইড, বেরিয়াম প্র্যাটিনোসায়ানাইড প্রভৃতি পদার্থের পলেপযুক্ত প্লেটের উপর  $\alpha$ -কণা পাড়লে প্রতিপ্রভাঙ্কিত স্ফুলিঙ্গায়ন (scintillation) দেখা যায়।

(viii) ইহারা কঠিন পদার্থ-কর্তৃক সহজেই শোষিত হয়। 0.1 mm অ্যালুমিনিয়াম পাতই  $\alpha$ -রশ্মিকে শোষণ করিবার পক্ষে যথেষ্ট।

(ix) পাতলা অশ্রের পাত, সোনার পাত ইত্যাদির দ্বারা  $\alpha$ -কণার বিক্ষেপন (scattering) ঘটে।

(b) বিটা-রশ্মির ধর্মাবলী :

(i) বিটা-রশ্মি ঋণাত্মক তড়িৎদাহিত কণার সমষ্টি। ইহারা খুব হালকা। ইহাদের ভর ও আধান ইলেকট্রনের ভর ও আধানের সমান। প্রকৃতপক্ষে  $\beta$ -কণাগুলি ইলেকট্রন ভিন্ন কিছুই নয়।

(ii) বিটা-কণার গতিবেগ অতি প্রচণ্ড। ইহার মান আলোর গতিবেগে 1% হইতে আলোর গতিবেগের প্রায় 98%-ও হইতে পারে।

(iii) তড়িৎ-গ্রন্থ বলিয়া ইহারা চৌম্বক ক্ষেত্র এবং তড়িৎ-ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয়।

(iv) একই তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে নির্গত বিটা-কণার বেগ বিভিন্ন মানের হয়। ইহার গতিবেগ-বর্ণালী (velocity spectrum) নিরবচ্ছিন্ন (continuous)।

[ $\beta$ -রশ্মি-বর্ণালীর ( $\beta$ -ray spectrum) নিরবচ্ছিন্নতা বহুদিন পর্যন্ত পদার্থবিজ্ঞানীদের নিকট রহস্যময় ছিল। ইহার ব্যাখ্যা করিতে পিরা পাউলি 'নিউট্রিনো' (neutrino) নামক একটি মৌল কণার অস্তিত্ব স্বীকার করিয়া লন। পরে পরীক্ষাগারে এই কণার সন্ধান পাওয়া গিয়াছে।]

(v) ইহার আয়নায়ন-ক্ষমতা যথেষ্ট, তবে আলফা-রশ্মি অপেক্ষা ইহার আয়নায়ন-ক্ষমতা অনেক কম।

(vi) ইহারা ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে। ফটোগ্রাফিক প্লেটে বিক্রিয়া ঘটাইতে এই রশ্মি  $\alpha$ -রশ্মি অপেক্ষা অধিকতর সক্রিয়।

(vii) বিটা-কণা কঠিন পদার্থ ভেদ করিয়া যাইতে পারে। ইহার ভেদন-ক্ষমতা  $\alpha$ -কণার তুলনায় বেশি। ইহারা প্রায় 1 cm অ্যালুমিনিয়াম পাতকে ভেদ করিয়া যাইতে পারে।

(viii)  $\beta$ -রশ্মি বেরিয়াম প্র্যাটিনোসায়ানাইড, ক্যালসিয়াম ট্যাংস্টেট ইত্যাদি পদার্থে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করিতে পারে।

(c) গামা-রশ্মির ধর্মাবলী :

(i)  $\alpha$ -রশ্মি এবং  $\beta$ -রশ্মির ন্যায়  $\gamma$ -রশ্মি তড়িৎ-গ্রন্থ কণা দ্বারা গঠিত নয়। আলো, এক্স-রশ্মি ইত্যাদির ন্যায় গামা-রশ্মিও তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। গামা-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 0.1 হইতে 0.0001 অ্যাংস্ট্রম (চিহ্ন  $\text{\AA}$  1.10 দ্রষ্টব্য)।

(ii) আলো ও অন্যান্য তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণের ন্যায় শূন্যস্থানে গামা-রশ্মির গতিবেগ  $3 \times 10^{10}$  cm/sec। অর্থাৎ, ইহার গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান।



(iii) তড়িৎ-গ্রন্থ কণা দ্বারা গঠিত নয় বলিয়া ইহারা তড়িৎ-ক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না।

(iv) গামা-রশ্মির আয়নায়ন ক্ষমতা রহিয়াছে, তবে  $\alpha$ -রশ্মি ও  $\beta$ -রশ্মির আয়নায়ন-ক্ষমতার তুলনায় ইহা খুবই কম।

(v) গামা-রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি করে। ইহা প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে।

(vi) ইহার ভেদন-ক্ষমতা বেশি। এই রশ্মি কয়েক সেন্টিমিটার বেধের সীসার পাত ভেদ করিয়া যাইতে পারে।

● পরমাণুর নিউক্লিয়াসে ইলেকট্রন থাকিতে পারে না। তাহা হইলে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হয় কীরূপে?

পরমাণুর নিউক্লিয়াসে ইলেকট্রন থাকিতে পারে না (4.9 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। অত্যাধিক তেজস্ক্রিয় ভাঙনের সময় তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে ইলেকট্রন ( $\beta$ -কণা) নিঃসৃত হয়।  $\beta$ -বিঘটনের সময় তেজস্ক্রিয় পরমাণুর নিউক্লিয়াসে একটি নিউট্রন স্থায়ীভাবে একটি প্রোটনে রূপান্তরিত হয়। এই রূপান্তরের সময় যে-ইলেকট্রন উৎপন্ন হয় তাহাই  $\beta$ -কণা রূপে নিউক্লিয়াস হইতে বাহির হইয়া আসে।

#### 5.4 তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্য

বিভিন্ন বিজ্ঞানীর গবেষণা হইতে তেজস্ক্রিয় সম্বন্ধে নিম্নোক্ত তথ্যগুলি পাওয়া গিয়াছে।

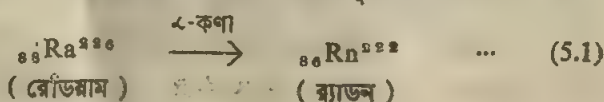
(i) তেজস্ক্রিয়তা একটি নিউক্লীয় বা কেন্দ্রক-ঘটিত ঘটনা (nuclear phenomenon)।

(ii) ইহা প্রকৃতপক্ষে নিউক্লিয়াসের ভাঙন (disintegration)। ইহার ফলে এক মোলের পরমাণু ভাঙিয়া গিয়া অন্য পদার্থে রূপান্তরিত হয়।

(iii) তেজস্ক্রিয়তা সম্পূর্ণ স্বতঃস্ফূর্ত ঘটনা। চাপ, উত্তাপ, চৌম্বক ক্ষেত্র, তড়িৎ-ক্ষেত্র ইত্যাদি কোন বাহ্যিক প্রভাবই তেজস্ক্রিয়তাকে প্রভাবিত করে না।

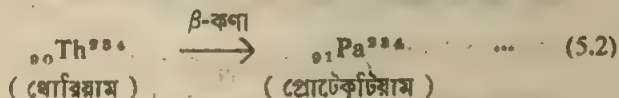
(iv) তেজস্ক্রিয়তা-জনিত ভাঙনের সময়  $\alpha$ -কণা,  $\beta$ -কণা ও গামা-রশ্মি সর্বদা একই সঙ্গে নিগত হয় না। কোন মোলের পরমাণু ভাঙবার সময়  $\alpha$ -কণা এবং কোন মোলের পরমাণু ভাঙবার সময়  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হয়। গামা-রশ্মি কখনও  $\alpha$ -কণার সহিত এবং কখনও  $\beta$ -কণার সহিত নিগত হয়।

একটি রেডিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে যখন কোন  $\alpha$ -কণা নিগত হয় তখন উহা আর রেডিয়াম পরমাণু থাকে না, একটি র্যাডন (radon) পরমাণুতে রূপান্তরিত হয়। নিম্নরূপ সমীকরণে মোলের এই তেজস্ক্রিয়তা-জনিত রূপান্তর প্রকাশ করা যায়—



উপরের সমীকরণে মৌলের রাসায়নিক প্রতীকচিহ্নের বামপার্শ্বে নিচের দিকে যে-সংখ্যা লেখা হইয়াছে তাহা মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা এবং ডানপার্শ্বে উপরের দিকে যে-সংখ্যাটি লেখা হইয়াছে তাহা মৌলের ভর-সংখ্যা।

থোরিয়াম পরমাণুর কেন্দ্রক হইতে  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হইলে প্রোটেক্টিয়াম পরমাণু গঠিত হয়। এই তেজস্ক্রিয় বিক্রিয়াকে নিম্নের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।



উপরের দুই রূপান্তর [সমীকরণ (5.1) ও (5.2)] তেজস্ক্রিয়তা-সংক্রান্ত দুইটি সূত্র প্রকাশ করিতেছে। ইহাদিগকে তেজস্ক্রিয়তার সরণ সূত্র (displacement laws) বলা হয়।

(i)  $\alpha$ -কণা নিঃসরণের ফলে তেজস্ক্রিয় মৌলের ভর-সংখ্যা চার-একক কমিয়া যায় এবং পারমাণবিক সংখ্যা ২ একক কমিয়া যায় (কেননা,  $\alpha$ -কণা প্রকৃতপক্ষে একটি হিলিয়াম কেন্দ্রক; ইহার প্রোটন সংখ্যা ২)। ইহার ফলে পর্যায় সারণীতে (periodic table) মৌলের অবস্থান বাম দিকে দুই শৃঙ্খক (column) সরিয়া যায় [সমীকরণ (5.1) দ্রষ্টব্য]।

(ii)  $\beta$ -কণা নিঃসরণের ফলে তেজস্ক্রিয় মৌলের ভর-সংখ্যার কোন পরিবর্তন হয় না, কিন্তু ইহার পারমাণবিক সংখ্যা এক-একক বাড়িয়া যায় (নিউক্লিয়াস হইতে একটি ইলেকট্রন নিগত হইলে একটি নিউট্রন প্রোটনে রূপান্তরিত হয় বলিয়াই ইহার পারমাণবিক সংখ্যা বাড়ে)। ইহার ফলে পর্যায় সারণীতে মৌলের অবস্থান ডান দিকে এক শৃঙ্খক সরিয়া যায় [সমীকরণ (5.2) দ্রষ্টব্য]।

## 5.5 ভাঙন-ধ্রুবক ও ভাঙন-অর্ধ-জীবনকাল (Disintegration constant and half-life)

তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুগুলি একসঙ্গে ভাঙে না। ইহাদের ভাঙনের হারের একটি নির্দিষ্ট সূত্র আছে। সকল তেজস্ক্রিয় পদার্থের ভাঙনের হার সমান নয়, তবে সকল তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষেত্রেই কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে ভাঙনের হার আলোচ্য মুহূর্তে বিদ্যমান মোট তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যার উপর নির্ভর করে। কোন নির্দিষ্ট সময়ে যদি  $N$ -সংখ্যক তেজস্ক্রিয় পরমাণু বিদ্যমান থাকে তাহা হইলে ঐ সময়ে ভাঙনের হার  $\frac{dN}{dt}$ -এর মান  $N$ -এর সমানুপাতিক হইবে।

$$\text{অর্থাৎ, } \frac{dN}{dt} = -\lambda N \dots \dots (5.3)$$

এখানে  $\lambda$  একটি ধ্রুবক। ইহাকে ভাঙন ধ্রুবক (disintegration constant) বলা হয়। ভাঙনের ফলে আলোচ্য তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুর সংখ্যা হ্রাস পাইতেছে বলিয়া এক্ষেত্রে  $\frac{dN}{dt}$  ঋণাত্মক হইবে। প্রসঙ্গত উল্লেখ করা প্রয়োজন

যে, নির্দিষ্ট মুহূর্তে ভাঙনের হার নির্দিষ্ট হইলেও কখন কোন্ পরমাণু ভাঙবে তাহা সম্পূর্ণভাবে দৈব-নির্ভর (chance)।

5.3 নং সমীকরণটির সমাধান করিলে পাই,  $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$N$ =কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে  $t$ -তে বিদ্যমান তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা

এবং  $N_0$ =তেজস্ক্রিয় পরমাণুগুলির প্রারম্ভিক সংখ্যা।

নিম্নে এই সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করা হইয়াছে।

$$\text{সমীকরণ 5.3 হইতে লেখা যায়, } \frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad \dots (i)$$

$$\text{সমাকলন করিয়া (Integrating) পাই, } \log_e N = -\lambda t + C \quad \dots (ii)$$

এখানে  $C$  হইল সমাকলন ধ্রুবক। প্রারম্ভিক মুহূর্তে ( $t=0$ ) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা  $N_0$  হইলে (ii) নং সমীকরণ হইতে পাই,  $\log_e N_0 = C \quad \dots (iii)$

$\therefore$  সমীকরণ (ii) ও (iii) হইতে লেখা যায়,  $\log_e N = -\lambda t + \log_e N_0$

$$\text{বা } \log_e \frac{N}{N_0} = -\lambda t \text{ বা, } \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \text{ বা, } N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots (5.4)$$

সময়ের সহিত আলোচ্য তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুর সংখ্যা সূচক সূত্র (exponential law) অনুযায়ী হ্রাস পাইতে থাকে। সময়ের সহিত তেজস্ক্রিয় পরমাণুর

সংখ্যা কীরূপভাবে হ্রাস পাইতে থাকে তাহা 5.2 নং চিত্রে দেখান হইয়াছে।

যে-সময়ে কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুর সংখ্যা উহার প্রারম্ভিক সংখ্যার অর্ধেক হয় তাহাকে ঐ তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধজীবনকাল (half-life) বলা হয়। 'রেডিয়ামের অর্ধজীবনকাল 1622 বৎসর' বলিতে বুঝায় যে, 1 gm রেডিয়াম লইয়া পর্যবেক্ষণ শুরু করিলে

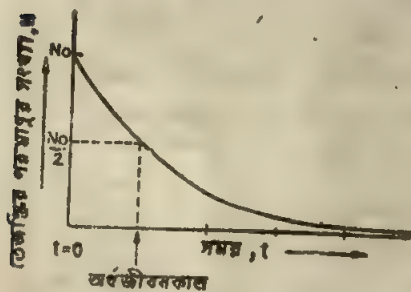
1622 বৎসর পর  $\frac{1}{2}$  gm রেডিয়াম অবশিষ্ট থাকে, বাকি  $\frac{1}{2}$  gm তেজস্ক্রিয় ভাঙনের ফলে অন্য মৌলে রূপান্তরিত হয়। ভাষান্তরে বলা যায়,  $N_0$  সংখ্যক রেডিয়াম পরমাণু লইয়া পর্যবেক্ষণ শুরু করিলে 1622 বৎসর পর  $N_0/2$ -সংখ্যক রেডিয়াম পরমাণু অবশিষ্ট থাকিবে।

অর্ধজীবনকালকে  $\tau$  ধরিলে 5.4 নং সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda \tau} \quad \dots (5.5)$$

কেননা অর্ধজীবনকাল পর,  $N = N_0/2$  (চিত্র 5.2) হইবে।

$$\therefore \frac{1}{2} = e^{-\lambda \tau} \quad \text{বা, } e^{\lambda \tau} = 2$$



চিত্র 5.2

$$\text{বা, } \lambda\tau = \log_e 2 = 2.323 \log_{10} 2 = 0.693 \quad \text{বা, } \tau = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\text{অর্থাৎ, অর্ধজীবনকাল} = \frac{0.693}{\text{ভাঙন-ধ্রুবক}} \quad \dots \quad (5.6)$$

কাজেই দেখা যাইতেছে যে, কোন মৌলের ভাঙন-ধ্রুবক  $\lambda$ -এর মান যত কম হইবে, উহার অর্ধজীবনকালও তত বেশি হইবে।

### • সমাধানসহ গাণিতিক প্রমাণনী •

**উদাহরণ 5.1** একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধজীবনকাল 15 ঘণ্টা। যদি মৌলটির প্রারম্ভিক ভর 1 gm হয় তাহা হইলে 45 ঘণ্টা পর ঐ মৌলের কতটা পড়িয়া থাকিবে?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1981 ]

**সমাধান :** ‘অর্ধজীবনকাল’-এর সংজ্ঞা হইতেই এই গাণিতিক প্রশ্নটির সমাধান করা যায়। আমরা জানি যে, ‘অর্ধজীবনকাল’-এর মধ্যে তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণু-সংখ্যা হ্রাস পায়। কাজেই, তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রাথমিক ভর 1 gm হইলে প্রথম 15 ঘণ্টার পর অবশিষ্ট থাকিবে  $\frac{1}{2}$  gm বা 0.5 gm। পরবর্তী 15 ঘণ্টা সময়ে অবশিষ্ট 0.5 gm তেজস্ক্রিয় মৌলও বিঘটনের ফলে অর্ধেক হইবে। অর্থাৎ, (15 + 15) বা 30 ঘণ্টা পরে তেজস্ক্রিয় পদার্থের  $\frac{0.5}{2}$  বা 0.25 অবশিষ্ট থাকিবে। ইহার পরবর্তী 15 ঘণ্টায় 0.25 gm-এর অর্ধেকও ভাঙিয়া যাইবে। ফলে মোট (30 + 15) বা 45 ঘণ্টা পর  $\frac{0.25}{2}$  বা 0.125 gm তেজস্ক্রিয় পদার্থ অবশিষ্ট থাকিবে।

**বিকল্প পদ্ধতি :** মৌলটির অর্ধজীবনকাল,  $T = 15$  ঘণ্টা।

$$\text{কাজেই, ইহার ভাঙন ধ্রুবক, } \lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{15} / \text{ঘণ্টা}$$

মনে করি, 1 gm মৌলের পরমাণু সংখ্যা =  $N_0$

$t$  সময় পরে  $N$  সংখ্যক পরমাণু অবশিষ্ট থাকিলে লেখা যায়,  $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$

এখানে  $t = 45$  ঘণ্টা, এবং  $\lambda = \frac{0.693}{15} / \text{ঘণ্টা}$ ।

$$\therefore \frac{N}{N_0} = e^{-\frac{0.693}{15} \times 45} = e^{-2.079}$$

$$\text{বা, } \frac{N_0}{N} = e^{2.079} \quad \text{বা, } 2.303 \log_{10} \left( \frac{N_0}{N} \right) = 2.079$$

$$\text{বা, } \log_{10} \left( \frac{N_0}{N} \right) = \frac{2.079}{2.303} = 0.9027$$

$$\text{বা, } \frac{N_0}{N} = \text{anti log } (0.9027) = 8 \text{ (প্রায়)} \quad \text{বা, } N = \frac{N_0}{8}$$

$N_0$  সংখ্যক পরমাণুর ভর 1 gm বলিয়া অবশিষ্ট পরমাণুর ভর =  $\frac{1}{8}$  gm বা, 0.125 gm।



**উদাহরণ 5.2** কিছু পরিমাণ থোরিয়ামের 20% বিঘটিত হইতে কত সময় প্রয়োজন তাহা নির্ণয় কর। থোরিয়ামের অর্ধজীবনকাল  $= 1.5 \times 10^{10}$  বৎসর।

**সমাধান :** প্রস্থানুসারে, থোরিয়ামের ভাঙন ধ্রুবক,  $\lambda$

$$= \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{1.5 \times 10^{10}} \quad / \quad \text{বৎসর} = 4.62 \times 10^{-11} / \text{বৎসর}$$

বদি থরিয়া লওয়া যায় যে,  $t$  বৎসর সময়ে থোরিয়ামের 20% বিঘটিত থাকে তাহা হইলে  $t$  বৎসর পর থোরিয়ামের পরিমাণ হইবে ইহার প্রাথমিক পরিমাণের 80%।

$$\text{সুতরাং, } \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} = 0.80$$

$$\text{বা, } e^{\lambda t} = \frac{1}{0.80} = 1.25$$

উভয় পক্ষের লগারিদম লইয়া পাই,

$$\lambda t = 2.303 \log_{10} 1.25 = 2.303 \times 0.09691 = 0.2232$$

$$\text{সুতরাং, নির্ণেয় সময়} = \frac{0.2232}{4.62 \times 10^{-11}} \text{ বৎসর} = 4.83 \times 10^9 \text{ বৎসর}$$

## 5.6 কক্সেপ্তাটি প্রাসঙ্গিক প্রশ্ন

### 1. রাসায়নিক পরিবর্তন এবং তেজস্ক্রিয় পরিবর্তনের পার্থক্য কী ?

রাসায়নিক পরিবর্তনে পরমাণুর কক্ষপথের ইলেকট্রনগুলিই অংশ নেয়, পরমাণুর কেন্দ্রকের কোনরূপ পরিবর্তন হয় না। তেজস্ক্রিয় পরিবর্তনে পরমাণুর কেন্দ্রকের পরিবর্তন ঘটে। রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কোনরূপ নতুন মৌলের সৃষ্টি হয় না, কিন্তু তেজস্ক্রিয় পরিবর্তনে নতুন মৌল উৎপন্ন হয়।

### 2. উত্তেজিত পরমাণু হইতে তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ বিকিরণ এবং তেজস্ক্রিয় বিঘটনের সময় :- রশ্মি নিঃসরণের মধ্যে কী কী সাদৃশ্য এবং বৈসাদৃশ্য আছে ?

তেজস্ক্রিয় পরমাণুর কেন্দ্রকের  $\alpha$ -বিঘটন বা  $\beta$ -বিঘটনের পর অবশিষ্ট কেন্দ্রক (nucleus) অনেক সময় উত্তেজিত অবস্থায় থাকিতে পারে। এই উত্তেজিত কেন্দ্রক সাধারণত  $10^{-12}$  sec সময়ের মধ্যে নিম্নতর শক্তিস্তরে সংক্রমিত হয়। এই সময় উক্ত কেন্দ্রক হইতে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ফোটন বা তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ নিঃসৃত হয়। ইহাকে  $\gamma$ -রশ্মি বলা হয়। কেন্দ্রক হইতে  $\gamma$ -রশ্মি নিঃসরণের সহিত উত্তেজিত পরমাণু হইতে তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ নিঃসরণের সাদৃশ্য আছে। শেষোক্ত ক্ষেত্রে বিকিরণ নিঃসৃত হয় উত্তেজিত পরমাণুর কক্ষীয় ইলেকট্রনের এক স্তর হইতে অন্য স্তরে সংক্রমণের ফলে। এই তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ সাধারণত দৃশ্যমান অতিবেগুনী বা অবলোহিত অঞ্চলে থাকে।

বিভিন্ন পরমাণুর কক্ষীয় ইলেকট্রনের শক্তি সাধারণত মাত্র কয়েক ইলেকট্রন-ভোল্ট (eV)। সুতরাং, পরমাণুর ইলেকট্রনের একটি কক্ষ হইতে অন্য কক্ষে সংক্রমণের

ফলে যে-ফোটন-কণা নিঃসৃত হয় উহাদের শক্তি সাধারণত মাত্র কয়েক ইলেকট্রন-ভোল্ট বা ইলেকট্রন-ভোল্টের ভগ্নাংশ-মাত্র। অপরপক্ষে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর কেন্দ্রক হইতে নিঃসৃত  $\alpha$ -কণা এবং  $\beta$ -কণার শক্তির পরিমাপ হইতে বুঝা যায় যে, কেন্দ্রকের শক্তি-স্তরগুলির শক্তি মেগা-ইলেকট্রন-ভোল্ট (Mev) মাত্রাসম্পন্ন। এই শক্তিস্তরগুলির মধ্যে সংক্রমণের ফলে নিঃসৃত  $\gamma$ -ফোটনের শক্তির পরিমাণ ন্যূনতম কয়েক হাজার ইলেকট্রন-ভোল্ট হইতে কয়েক মেগা-ইলেকট্রন-ভোল্ট পর্যন্ত হইতে পারে।

3. প্রকৃতিসম্বন্ধ তেজস্ক্রিয় বিঘটন শ্রেণীতে এইরূপ অনেক দৃষ্টান্ত আছে যেখানে একটি কেন্দ্রক প্রথমে একটি  $\alpha$ -কণা নিঃসৃত করে এবং ইহার পর দুইটি  $\beta$ -কণা নিঃসৃত করে। দেখাও যে, অন্তিম কেন্দ্রকটি প্রাথমিক কেন্দ্রকের একটি আইসোটোপ। প্রাথমিক কেন্দ্রক এবং অন্তিম কেন্দ্রকের মধ্যে পার্থক্য কি?

মনে করি, প্রাথমিক কেন্দ্রকটির ভরসংখ্যা A এবং পারমাণবিক সংখ্যা Z। সুতরাং, কেন্দ্রকটিকে নিম্নের প্রতীকীচিহ্নের দ্বারা প্রকাশ করা যায় :

$${}_Z X^A$$

এই কেন্দ্রক হইতে একটি  $\alpha$ -কণা নিঃসৃত হইলে ইহার ভরসংখ্যা 4 কমিবে এবং পারমাণবিক সংখ্যা 2 কমিবে। কাজেই, একটি  $\alpha$ -কণা নিঃসৃত হইবার ফলে যে-কেন্দ্রকটি গঠিত হইবে উহার ভর-সংখ্যা হইবে (A-4) এবং পারমাণবিক সংখ্যা হইবে (Z-2)। এই কেন্দ্রকটিকে নিম্নরূপ প্রতীকের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় :

$${}_{Z-2} Y^{A-4}$$

কোন কেন্দ্রক হইতে একটি  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হইলে ইহার ভর সংখ্যা অপরিবর্তিত থাকে, কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা 1 বৃদ্ধি পায়। কাজেই  ${}_{Z-2} Y^{A-4}$  কেন্দ্রক হইতে দুইটি  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হইলে ইহার ভর-সংখ্যা (A-4)-ই থাকিবে, কিন্তু ইহার পারমাণবিক সংখ্যা (Z-2) হইতে বৃদ্ধি পাইয়া Z হইবে। এই কেন্দ্রকটির পারমাণবিক সংখ্যা প্রাথমিক কেন্দ্রকটির পারমাণবিক সংখ্যার সমান বলিয়া এই কেন্দ্রকটি প্রাথমিক কেন্দ্রকের আইসোটোপ। ইহার ভর-সংখ্যা (A-4)। অর্থাৎ, প্রাথমিক এবং অন্তিম কেন্দ্রকের ভরসংখ্যার পার্থক্য হইল 4। অন্তিম কেন্দ্রকটিকে নিম্নরূপ প্রতীকের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় :

$${}_Z X^{A-4}$$

4. যখন কোন পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে—(i) একটি  $\gamma$ -ফোটন নিঃসৃত হয়, (ii) একটি  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হয়, এবং (iii) একটি পজিট্রন নিঃসৃত হয় তখন ঐ নিউক্লিয়াসের ‘নিউট্রন/প্রোটন’ অনুপাতের কী হয়?

(i) যখন কোন তেজস্ক্রিয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে  $\gamma$ -রশ্মি নিঃসৃত হয় তখন উহার নিউক্লিয়াসের প্রোটনের সংখ্যার কোনরূপ পরিবর্তন ঘটে না। কাজেই, এই সময় প্রোটন ও নিউট্রনের অনুপাতের কোনরূপ পরিবর্তন ঘটে না।

(ii) যখন তেজস্ক্রিয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে একটি  $\beta$ -কণা বা একটি

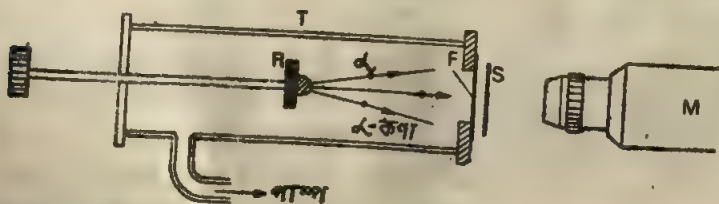
ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় তখন একটি নিউক্লিয়াস নিউট্রন-অবস্থা (neutron state) হইতে প্রোটন অবস্থায় (proton state) যায়। অর্থাৎ, এই সময় একটি নিউট্রন-কণা একটি প্রোটন কণায় রূপান্তরিত হয়। কাজেই,  $\beta$ -বিঘটনের সময় নিউট্রন ও প্রোটনের অনুপাত কমিয়া যায়।

(iii) যখন তেজস্ক্রিয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে একটি পজিট্রন নিঃসৃত হয় তখন একটি নিউক্লিয়াস প্রোটন-অবস্থা হইতে নিউট্রন অবস্থায় যায়। ভাষান্তরে বলা যায় যে, এই-সময় একটি প্রোটন-কণা একটি নিউট্রন-কণায় রূপান্তরিত হয়। কাজেই, পজিট্রন নিঃসরণের ফলে তেজস্ক্রিয় কেন্দ্রকের 'নিউট্রন/প্রোটন' অনুপাত বৃদ্ধি পায়।

### 5.7 কৃত্রিম মৌলান্তর (Artificial transmutation)

একটি মৌলকে অন্য মৌলে রূপান্তরিত করিবার চেষ্টা বহুদিন হইতেই চলিতেছিল। মধ্যযুগীয় ইউরোপের অ্যালকেমিস্টগণ দাবি করিতেন যে, তাঁহারা লোহা প্রভৃতি সহজলভ্য ধাতুকে সোনার রূপান্তরিত করিতে পারেন। কিন্তু তাঁহাদের এই দাবি ভিত্তিহীন। তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কারের পর প্রমাণিত হইল যে, তেজস্ক্রিয় পদার্থগুলি স্বতঃস্ফূর্তভাবে অন্য মৌলে রূপান্তরিত হয়। কাজেই ইহাকে প্রাকৃতিক মৌলান্তর বলা যায়। কৃত্রিম উপায়ে কোন মৌলের কেন্দ্রকের রূপান্তর করিয়া মৌলান্তর ঘটাইতে সর্বপ্রথম সমর্থ হন বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড। তাঁহার পরীক্ষা-ব্যবস্থাটি নিম্নরূপ (চিত্র 5.3)।

এই যন্ত্রে একটি লম্বা কাচের নল (T) থাকে; ইহাকে বিভিন্ন গ্যাস দ্বারা পূর্ণ করা যায়। নলের মধ্যে  $\alpha$ -কণা নিঃসরণকারী তেজস্ক্রিয় উৎস R রাখা হয়। নলের এক পাশে থাকে একটি গবাক্ষ, ইহা একটি রূপার পাত (F) দ্বারা আবৃত থাকে। F-এর পিছনেই রাখা হয় একটি প্রতিপ্রভ পর্দা S। F-পাত হইতে তেজস্ক্রিয় উৎস R-এর দূরত্ব পরিবর্তন করিবার উপযুক্ত ব্যবস্থা থাকে। প্রতিপ্রভ পর্দার পাশে রাখা হয় একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্র (M); ইহার সাহায্যে S-পর্দায় উৎপন্ন স্কিলিগ্মন (scintillation) পর্যবেক্ষণ করা যায়।



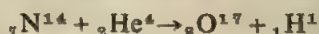
চিত্র 5.3

রাদারফোর্ড F পাতের বেধ এইরূপ লইয়াছিলেন যাহাতে তেজস্ক্রিয় উৎস R হইতে নিঃসৃত  $\alpha$ -কণিকাগুলি ইহা দ্বারা সম্পূর্ণভাবে শোষিত হইয়া যায়। ইহা ছাড়া,

R এবং F-এর দূরত্ব নলের অভ্যন্তরস্থ গ্যাসের মধ্যে  $\alpha$ -কণার পথসীমা (range) অপেক্ষা বেশি রাখা হয়। সুতরাং, R হইতে নিঃসৃত  $\alpha$ -কণাগুলির পক্ষে কোনক্রমেই S-পাতের স্ফুলিঙ্গায়ন উৎপন্ন করা সম্ভব নয়। এই অবস্থায় T-নলকে নাইট্রোজেন গ্যাস দ্বারা পূর্ণ করিলে S-পর্দায় মাঝে মাঝে স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি হইতে দেখা যাইবে। পর্দা S এবং উৎস R-এর দূরত্ব প্রায় 40 cm হইলেও এইরূপ স্ফুলিঙ্গায়ন দেখা যায়। এই স্ফুলিঙ্গায়ন কখনই R হইতে নিঃসৃত  $\alpha$ -কণা দ্বারা সংঘটিত হইতে পারে না।

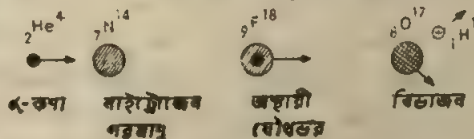
রাদারফোর্ড সিদ্ধান্তে আসিলেন যে,  $\alpha$ -কণাগুলির সহিত নাইট্রোজেনের কেন্দ্রকের সংঘাত হইলে উহা হইতে এমন কণা নিঃসৃত হয় যাহার পথসীমা (range) দীর্ঘ। এই কণাগুলিই S-পর্দায় স্ফুলিঙ্গায়ন উৎপাদনের জন্য দায়ী। চৌম্বক ক্ষেত্রের দ্বারা বিচ্যুত করিয়া রাদারফোর্ড প্রমাণ করিতে সমর্থ হইলেন যে, যে-কণিকা S-পর্দায় স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি করে তাহা হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস বা প্রোটন। ইহারা-যে ব্যবহৃত নাইট্রোজেন গ্যাসের সহিত মিশ্রিত অপদ্রব্য (impurity) হাইড্রোজেন গ্যাস হইতে নিঃসৃত প্রোটন নহে, রাদারফোর্ড তাহাও প্রমাণ করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন।

তাহা হইলে এই প্রোটনের উৎস কী? রাদারফোর্ড বলিলেন, উচ্চ শক্তিসম্পন্ন  $\alpha$ -কণা নাইট্রোজেনের কেন্দ্রকে গিয়া আঘাত করিয়া উহা হইতে প্রোটন কণা বাহির করিয়া দেয় এবং এই প্রক্রিয়ায় নাইট্রোজেন পরমাণু রূপান্তরিত হইয়া অক্সিজেন পরমাণুতে পরিণত হয়। এই নিউক্লীয় বিক্রিয়ার সমীকরণ নিম্নরূপ—



( $\alpha$ -কণা) (প্রোটন)

যখন  $\alpha$ -কণিকা নাইট্রোজেন কেন্দ্রকের সহিত সংঘাতে লিপ্ত হয় তখন প্রথমে একটি অস্থায়ী যৌথভর গঠিত হয় (চিত্র 5.4)। ইহাতে মোট +9 একক আধান থাকায় ইহাকে অস্থায়ী ফ্লোরিন নিউক্লিয়াস মনে করা যায়। এই অস্থায়ী ফ্লোরিন নিউক্লিয়াসটি বিভাজিত হইয়া একটি প্রোটন ও একটি অক্সিজেন নিউক্লিয়াস গঠন করে। রাদারফোর্ড প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তায় উৎপন্ন আল্ফা-কণা প্রয়োগ করিয়া



চিত্র 5.4

উপরি-উক্ত মৌলান্তর লক্ষ্য করেন। ইহার পর কৃত্রিম উপায়ে ত্বরিত প্রোটন, ডয়টেরন\*, আল্ফা-কণা ইত্যাদির সাহায্যেও মৌলান্তর ঘটান সম্ভব হইয়াছে।

## 5.8 নিউট্রন আবিষ্কার

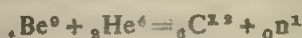
1930 খ্রীস্টাব্দে বোথে এবং বেকের (Bothe and Becker) নামক দুই জার্মান বিজ্ঞানী লক্ষ্য করেন যে, বেরিলিয়াম পরমাণুর কেন্দ্রকে  $\alpha$ -কণিকা দ্বারা

\* হাইড্রোজেন-2 বা ডয়টেরিয়াম পরমাণুর কেন্দ্রকে ডয়টেরন বলা হয়।

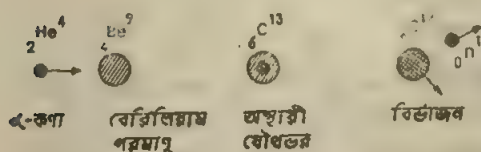


আবিষ্কার করিলে উহা হইতে এক প্রকার উচ্চ ভেদনক্ষমতা (penetrability)-সম্পন্ন 'বিকিরণ' নিঃসৃত হয়। বিজ্ঞানী মাদাম কুরীর কন্যা আইরীন কুরী জোলিও এবং তাঁহার স্বামী অধ্যাপক জোলিও লক্ষ্য করেন যে, এই বিকিরণের প্রভাবে হাইড্রোজেন-ঘটিত পদার্থ (যথা, প্যারারফিন, মোম ইত্যাদি) হইতে উচ্চ শক্তি-সম্পন্ন প্রোটন নিঃসৃত হইতে থাকে। তাঁহারা আরও লক্ষ্য করেন যে, এই 'বিকিরণ' চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয় না। কাজেই ইহা আহিত কণার দ্বারা গঠিত হইতে পারে না। জোলিও-সম্পতি সিদ্ধান্তে আসেন যে, বেরিলিয়াম কেন্দ্রক হইতে নিঃসৃত এই 'বিকিরণ' উচ্চ শক্তি-সম্পন্ন গামা-রশ্মি। কিন্তু এই অনুমানের ভিত্তিতে অনেক পরীক্ষালব্ধ তথ্য ব্যাখ্যা করা গেল না।

1932 খ্রীস্টাব্দে রাদারফোর্ডের সুযোগ্য ছাত্র চ্যাড্‌উইক প্রমাণ করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন যে,  $\alpha$ -কণার আঘাতে বেরিলিয়াম কেন্দ্রক হইতে যে-উচ্চ শক্তিসম্পন্ন 'বিকিরণ' নিঃসৃত হয় তাহা প্রকৃতপক্ষে তড়িদাধানবিহীন এক প্রকার কণিকা দ্বারা গঠিত। এই কণিকাগুলির ভর প্রোটনের ভরের প্রায় সমান। এই আধানবিহীন কণিকার নাম দেওয়া হয় নিউট্রন (neutron)। চ্যাড্‌উইক উপরি-উক্ত নিউক্লীয় বিক্রিয়ার যে-সমীকরণ দিয়াছিলেন তাহা নিম্নরূপ



বেরিলিয়াম কেন্দ্রকের সহিত সংঘাতের সময়  $\alpha$  কণা ( ${}_2\text{He}^4$ ) বেরিলিয়াম



চিত্র 5.5

কেন্দ্রক ( ${}_4\text{Be}^9$ )-এর সহিত যুক্ত হইয়া অস্থায়ী যৌথভর ( ${}_6\text{C}^{13}$ ) গঠন করে। ঐ যৌথভর বিভাজিত হইয়া কার্বনের স্থায়ী পরমাণু ( ${}_6\text{C}^{12}$ ) গঠন করে এবং একটি নিউট্রন কণা বর্জন করে (চিত্র-5.5)।

নিউট্রন কণা তড়িৎশূন্য বলিয়া ইহারা খুব সহজে পদার্থ ভেদ করিয়া যাইতে পারে। নিউট্রন কণা পরমাণুর ইলেকট্রনের আধান দ্বারা বা নিউক্লিয়াসের আধান দ্বারা প্রভাবিত হয় না। একমাত্র পদার্থের নিউক্লিয়াসের সহিত সংঘাত ঘটিলেই সচল নিউট্রন কণা স্থির বা বিক্ষিপ্ত হইতে পারে।

চ্যাড্‌উইকের এই আবিষ্কার নিউক্লীয় পদার্থবিজ্ঞান (nuclear physics)-এর ইতিহাসে এক গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা। 1935 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী চ্যাড্‌উইককে তাঁহার এই মূল্যবান গবেষণার জন্য নোবেল পুরস্কারে সম্মানিত করা হয়। নিউট্রন আবিষ্কারের পরই, পরমাণু নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রকের গঠন সম্বন্ধে আধুনিক মতবাদ গঠিত হইয়াছে।

## 5.9 পলিইটিন আবিষ্কার

• ১৯৩২ খ্রীষ্টাব্দে মহাজাগতিক রশ্মি-সংক্রান্ত গবেষণা-কালে বিজ্ঞানী অ্যাণ্ডারসন পজিট্রন নামক এক নূতন কণা আবিষ্কার করেন। অ্যাণ্ডারসন পরীক্ষার সাহায্যে নিঃসংশয়ে প্রমাণ করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন যে, এই কণার ভর ইলেকট্রনের ভরের সমান। ইহার আধানও ইলেকট্রনের আধানের সমান; কিন্তু ইহা ধনাত্মক তড়িৎ-ধর্মী। কেবলমাত্র তড়িৎ-ধর্ম ছাড়া ইলেকট্রনের সহিত নব-আবিষ্কৃত এই কণার কোনরূপ পার্থক্য নাই বলিয়া ইহাকে ধনাত্মক  $\beta$ -কণা ( $\beta^+$ -particle)-ও বলা হয়। অ্যাণ্ডারসনের এই আবিষ্কারের কিছুকাল পর কৃত্রিম বা আর্বিষ্ট তেজস্ক্রিয় সংক্রান্ত পরীক্ষায় কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে পজিট্রন নিঃসৃত হইতে দেখা গেল।

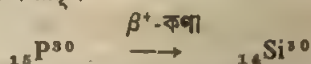
### 5.10 କୃତ୍ରିମ ତେଜସ୍ବିୟା

১৯৩৩ খ্রীস্টাব্দে আইরিন কুরী ও তাঁহার স্বামী অধ্যাপক জোলিও সর্বপ্রথম কৃত্রিম উপায়ে স্বাভাবিক অবস্থায় স্থায়ী পদার্থে তেজস্ক্রিয়তার সৃষ্টি করতে সমর্থ হন। তাঁহারা একটি অ্যালুমিনিয়াম পাতকে ২-কণা দ্বারা আঘাত করিয়া দেখেন যে, অ্যালুমিনিয়াম পাত হইতে নিউট্রন কণা নিঃসৃত হইতেছে। জোলিও-দম্পতি আরও লক্ষ্য করেন যে, অ্যালুমিনিয়াম পাতের উপর ২-কণা বর্ষণ বন্ধ করার পর কিছুক্ষণ ধরিয়া পজিট্রন নিঃসৃত হইতে থাকে। এই আবিষ্কারের বছর খানেক পূর্বে মহা-জাগতিক রশ্মি-সংক্রান্ত গবেষণাকালে অ্যাণ্ডারসন পজিট্রন আবিষ্কার করিয়াছিলেন।

জ্যোতিঃদম্পতি এই ঘটনার নিম্নরূপ ব্যাখ্যা দিয়াছিলেন। ২-কণার সহিত সংঘাতে অ্যালুমিনিয়াম পরমাণু প্রথমে একটি ফসফরাস পরমাণু ( $^{30}_{15}\text{P}$ )-তে রূপান্তরিত হয়। এই রূপান্তরের সমীকরণ নিম্নরূপ—



জ্বোলিও-দম্পতি অনুমান করেন যে, উক্ত কেন্দ্রক বিক্রিয়ায় যে-ফসফরাস পরমাণু  
পঠিত হয় তাহা তেজস্ক্রিয়। ইহা পজিট্রন কণা নিঃসৃত করিয়া সিলিকন পরমাণুতে  
পরিণত হয়। বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ—



তাহাদের অনুমানের সত্যতা যাচাই করিবার জন্য আলুমিনিয়ামে ১-কণা বর্ষণের পর তাহারা আলুমিনিয়াম হইতে উৎপন্ন ফসফরাসকে রাসায়নিক পদ্ধতিতে পৃথক করেন এবং দেখেন যে, প্রাপ্ত ফসফরাস হইতে পজিট্রন নির্গত হইতেছে কিন্তু পৃথকীকৃত আলুমিনিয়াম হইতে পজিট্রন নিঃসরণ ঘটিতেছে না। এইরূপভাবে জোন্স ও দম্পতি সর্বপ্রথম কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার করেন। ইহার পর তাহারা বোরন এবং ম্যাগনেসিয়ামের উপর ১-কণিকা বর্ষণ করিয়া নাইট্রোজেন এবং সিলিকনের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপন্ন করিতে সক্ষম হন।

## 5.11 রেডিও আইসোটোপ ও ইহাদের ব্যবহার

## (Radio-isotopes and their uses)

ইতিপূর্বে উল্লেখ করা হইয়াছে যে, অনেক তেজস্ক্রিয় ভারী মৌলের একাধিক তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ আছে। ইহাদিগকে প্রাকৃতিক রেডিও-আইসোটোপ (natural radio-isotopes) বলা হয়। কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়-সংক্রান্ত আলোচনা প্রসঙ্গে আমরা দেখিলাম যে, অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুকে  $\alpha$ -কণা দ্বারা আঘাত করিলে যে-ফসফরাস পরমাণু উৎপন্ন হয় তাহা তেজস্ক্রিয়। শুধু ফসফরাস পরমাণুকেই নয়, সাধারণভাবে তেজস্ক্রিয় নয় এইরূপ সকল মৌলেরই রেডিও-আইসোটোপ কৃত্রিম উপায়ে তৈয়ারী করা সম্ভব হইয়াছে। ইহাদিগকে কৃত্রিম রেডিও-আইসোটোপ (artificial radio-isotopes) বলা হয়। সাধারণত নিউট্রন ও বিভিন্ন দ্রবিত কণা (accelerated particles) দ্বারা স্থায়ী পরমাণুকে আঘাত করিয়া কৃত্রিম রেডিও-আইসোটোপ গঠন করা হয়।

রেডিও-আইসোটোপের নানারূপ ব্যবহার আছে। চিকিৎসা-বিজ্ঞানে, প্রত্নতাত্ত্বিক নিদর্শনের বয়স নির্ধারণে এবং জীব-বিজ্ঞানে রেডিও-আইসোটোপের ব্যবহার অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। নিম্নে রেডিও-আইসোটোপের বিভিন্ন ব্যবহার সম্পর্কে আলোচনা করা হইল।

(i) তেজস্ক্রিয় নির্দেশক বা সন্ধানী (Radioactive indicators or tracer) : রেডিও-আইসোটোপের ব্যবহারের মধ্যে সর্বাপেক্ষা উল্লেখযোগ্য হইল তেজস্ক্রিয় নির্দেশক-রূপে ইহার প্রয়োগ। আমরা জানি যে, কোন মৌলের স্থায়ী আইসোটোপ এবং ইহার তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের রাসায়নিক ধর্ম অভিন্ন। কাজেই কোন মৌলের স্থায়ী আইসোটোপের সহিত অল্প পরিমাণ তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ মিশ্রিত থাকিলে বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় এই উভয় আইসোটোপই অংশ গ্রহণ করিবে। তেজস্ক্রিয় পরমাণুগুলি রাসায়নিক বিক্রিয়ার পরও তেজস্ক্রিয় থাকে। এই পরমাণুগুলি কখন কোথায় যায় উহাদের তেজস্ক্রিয় বিকিরণ হইতে তাহা বুঝা যায়।

চিকিৎসাক্ষেত্রে এবং জৈব-রাসায়নিক গবেষণার ক্ষেত্রে তেজস্ক্রিয় সন্ধানীর ব্যবহার বিশেষ সুবিধাজনক। জীবদেহে বা উদ্ভিদ-দেহে বিভিন্ন প্রকার জৈব পদার্থ উৎপাদনের পদ্ধতি এবং এই সকল পদার্থের গমনপথ ইত্যাদি নির্ণয়ে তেজস্ক্রিয় সন্ধানী ব্যবহার করা হয়। রেডিও-কার্বন  $C^{14}$  ব্যবহার করিয়া সালোক-সংশ্লেষ (photosynthesis), প্রোটিন-সংশ্লেষ ইত্যাদি পদ্ধতির স্বরূপ জানা সম্ভব হইয়াছে। জীবদেহের বা উদ্ভিদ-দেহের কোন স্থানে উপযুক্ত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ প্রবেশ করািয়া দিলে উহা দেহের বিভিন্ন অংশে কীভাবে ব্যাপ্ত হয় তাহা গাইগার-মুলার কাউন্টার বা অটো-রেডিওগ্রাফির (auto-radiography) সাহায্যে জানা যায়।

ধাতুবিজ্ঞানে (metallurgy) এবং অন্যান্য শিল্পেও তেজস্ক্রিয় সন্ধানী পদ্ধতির ব্যবহার আছে।

(ii) চিকিৎসা-বিজ্ঞানে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ : ফসফরাস, আয়োডিন, জোহা, সোডিয়াম, ক্যালসিয়াম ইত্যাদি মৌলের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ বাছিয়া লইয়া দেহের বিভিন্ন অংশে তেজস্ক্রিয় বিকিরণ বর্ষণ করা যায়। উদাহরণস্বরূপ দেখা গিয়াছে যে, দেহের কোন অংশে আয়োডিন প্রবেশ করাইলে উহার বেশির ভাগই থাইরয়েড গ্র্যাণ্ড (thyroid gland)-এ গিয়া জমা হয়। কাজেই, আয়োডিনের রেডিও-আইসোটোপের সাহায্যে দেহের অন্যান্য অংশকে প্রভাবিত না করিয়া চিকিৎসার প্রয়োজনে কেবলমাত্র থাইরয়েড গ্র্যাণ্ডে তেজস্ক্রিয় বিকিরণ প্রয়োগ করা যায়। রোগ-নির্ণয় এবং রোগ-নিরাময়—উভয় প্রয়োজনেই তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ব্যবহৃত হয়। চর্মরোগের চিকিৎসায় রেডিও-ফসফরাস ( $P^{32}$ ) এবং ক্যানসারের চিকিৎসায় রেডিও কোবাল্ট ( $Co^{60}$ ) ও সোনার তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ রেডিও-গোল্ড ( $Au^{198}$ ) ব্যবহৃত হয়। লিওকোমিয়া, মালিগ্নার টিউমার প্রভৃতি রোগের চিকিৎসায়  $P^{32}$  তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ব্যবহৃত হয়।

(iii) তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সাহায্যে প্রত্নতাত্ত্বিক (archeological) এবং নৃতাত্ত্বিক (anthropological) নিদর্শন বস্তুর বয়স নির্ধারণ : মহাজাগতিক রশ্মির মধ্যে বিদ্যমান নিউট্রনের দ্বারা পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেন কেন্দ্রিক ( $N^{14}$ ) বিঘটিত হইয়া তেজস্ক্রিয় কার্বন আইসোটোপ ( $C^{14}$ ) উৎপন্ন হয়। ফলে বায়ুমণ্ডলে সর্বদা একটা নির্দিষ্ট পরিমাণ তেজস্ক্রিয়  $C^{14}$ -পরিমাণ বিদ্যমান থাকে। সালোক-সংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদ যে-কার্বন সংগ্রহ করে তাহাতে অল্প পরিমাণ  $C^{14}$  আইসোটোপ থাকে। খাদ্যের মধ্য দিয়া প্রাণিদেহেও কার্বনের এই তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সংগ্রহ করে। কাজেই, গাছপালা ও অন্যান্য জীবদেহ উহাদের জীবদ্দশায় তেজস্ক্রিয় কার্বন সংগ্রহ করে। মৃত্যুর পর ইহারা আর  $C^{14}$  আইসোটোপ সংগ্রহ করে না। তখন তেজস্ক্রিয় ভাঙনের ফলে ইহাদের মধ্যে  $C^{14}$ -এর পরিমাণ ক্রমশ হ্রাস পাইতে থাকে। কাজেই  $C^{14}$  আইসোটোপের পরিমাণ নির্ধারণ করিয়া মৃত উদ্ভিদ বা প্রাণীর প্রাচীনত্ব সম্বন্ধে ধারণা করা যায়।

### সার-সংক্ষেপ

কয়েকটি ভারী মৌল তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকিরণ করিয়া অন্য মৌলে রূপান্তরিত হয়। ইউরেনিয়াম হইতে এইরূপ তেজস্ক্রিয় রশ্মি নিঃসরণ আবিষ্কার করেন ফরাসী বিজ্ঞানী বেকেরেল। তেজস্ক্রিয় রশ্মি তিন প্রকার রশ্মি দ্বারা গঠিত—(i)  $\alpha$ -রশ্মি, (ii)  $\beta$ -রশ্মি এবং (iii)  $\gamma$ -রশ্মি।



**$\alpha$ -রশ্মির ধর্মাবলী :**  $\alpha$ -রশ্মি ধনাত্মক তড়িৎদাহিত  $\alpha$ -কণার (হিলিয়াম নিউক্লিয়াস) দ্বারা গঠিত।  $\alpha$ -কণার ধনাত্মক আধানের মান ইলেকট্রনের আধানের দ্বিগুণ। ইহার ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের প্রায় চারগুণ।  $\alpha$ -রশ্মি গ্যাসকে আয়নিত করে এবং ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি করে।  $\alpha$ -রশ্মি কঠিন পদার্থ দ্বারা সহজেই শোষিত হয়।  $\alpha$ -রশ্মি তড়িৎ-ক্ষেত্র এবং চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয়।

**$\beta$ -রশ্মির ধর্মাবলী :**  $\beta$ -রশ্মি ইলেকট্রন দ্বারা গঠিত। ইহা তড়িৎ-ক্ষেত্র এবং চৌম্বক-ক্ষেত্র দ্বারা  $\alpha$ -রশ্মির বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয়। এই রশ্মি গ্যাসকে আয়নিত করিতে পারে এবং ফটোগ্রাফিক প্লেটকে প্রভাবিত করিতে পারে। এই রশ্মিও ভেদন-ক্ষমতা  $\alpha$ -রশ্মির তুলনায় বেশি।  $\alpha$ -রশ্মির ন্যায়  $\beta$ -রশ্মিও প্রতি-প্রভার সৃষ্টি করিতে পারে।

**$\gamma$ -রশ্মির ধর্মাবলী :** এই রশ্মি কোন তড়িৎদাহিত কণার দ্বারা গঠিত হয়। দৃশ্য আলোর ন্যায়  $\gamma$ -রশ্মি একপ্রকার তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। শূন্যস্থানে ইহা আলোর বেগে ( $3 \times 10^{10}$  cm/sec) সঞ্চালিত হয়। ইহা গ্যাসকে আয়নিত করে এবং ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া ঘটায়। ইহা প্রতিপ্রভাও সৃষ্টি করে। ইহা চৌম্বক-ক্ষেত্র বা তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না।

তেজস্ক্রিয়তা একটি নিউক্লীয় ঘটনা। ইহা প্রকৃতপক্ষে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের স্বতঃস্ফূর্ত ভাঙন। তেজস্ক্রিয় ভাঙনের সময়  $\alpha$ -কণা,  $\beta$ -কণা এবং  $\gamma$ -কণা সর্বদা একই সঙ্গে নির্গত হয় না।

$\alpha$ -কণা নিঃসরণের ফলে তেজস্ক্রিয় মৌলের ভরসংখ্যা চার একক কমিয়া যায় এবং পারমাণবিক সংখ্যা 2 একক কমিয়া যায়।  $\beta$ -কণা নিঃসরণের তেজস্ক্রিয় মৌলের ভর-সংখ্যার কোন পরিবর্তন হয় না, কিন্তু ইহার পারমাণবিক সংখ্যা এক একক বাড়িয়া যায়।

$N_0$  সংখ্যক তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙন শুরু হইলে এবং  $t$  সময় পরে  $N$  সংখ্যক পরমাণু অবশিষ্ট থাকিলে  $N$  এবং  $N_0$ -এর সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

এখানে  $\lambda$  হইল আলোচ্য মৌলের ক্ষেত্রে একটি ধ্রুবক। ইহাকে ঐ মৌলের ভাঙন ধ্রুবক বলা হয়।

যে সময়ে কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণু-সংখ্যা উহার প্রারম্ভিক সংখ্যার অর্ধেক হয় তাহাকে ঐ তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধজীবনকাল বলা হয়।

$$\text{অর্ধজীবনকাল} = \frac{0.693}{\text{ভাঙন-ধ্রুবক}}$$

কৃত্রিম উপায়েও মৌলান্তর ঘটান যায়। রাদারফোর্ড  $\alpha$ -কণার সাহিত্যে নাই-

নাইট্রোজেন কেন্দ্রকের সংঘাত ঘটাইয়া অক্সিজেন কেন্দ্রক গঠন করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন। চ্যাডউইক লক্ষ্য করেন যে, বোরিলিয়াম কেন্দ্রকে  $\alpha$ -কণা দ্বারা আঘাত করিলে উহা হইতে নিউট্রন নিঃসৃত হয়।

সাধারণভাবে যে-সকল মৌল তেজস্ক্রিয় নয় কৃত্রিম উপায়ে উহাদের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ উৎপন্ন করা যায়। ইহাদিগকে রেডিও-আইসোটোপ বলা হয়। রেডিও আইসোটোপের নানারূপ ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে।

## প্রশ্নমালা 5

### কুশোভর প্রশ্নাবলী

1. পরমাণুর নিউক্লিয়াসে ইলেকট্রন থাকিতে পারে না। তাহা হইলে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হয় কিরূপে?

2. যদি  $\alpha$ -কণিকার দ্বারা একটি A ভর-সংখ্যা ও Z পারমাণবিক সংখ্যা-সম্পন্ন কোন কেন্দ্রকে বৃণাস্তরিত করা হয়, তাহা হইলে যখন (i) প্রোটন নির্গত হইবে, (ii) যখন নিউট্রন নির্গত হইবে, তখন যে কেন্দ্রগুলি সৃষ্টি হইবে তাহাদের ভরসংখ্যা এবং পারমাণবিক সংখ্যা কত হইবে? [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1979 ]

3. একটি  ${}_{92}\text{U}^{238}$  নিউক্লিয়াস পর্যায়ক্রমে আটটি  $\alpha$ -কণা এবং ছয়টি ইলেকট্রন নিঃসৃত করিয়া সীসার আইসোটোপে বৃণাস্তরিত করা হয়। সীসার আইসোটোপটির পারমাণবিক ক্রমাঙ্ক ও ভরসংখ্যা কত হইবে বিবৃত কর।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1978 ; উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1983 ]

4. উত্তেজিত পরমাণু হইতে তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ বিকিরণ এবং তেজস্ক্রিয় বিঘটনের সময়  $\gamma$ -রশ্মি নিঃসরণের মধ্যে কী কী সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্য আছে?

5. যখন কোন পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে (i) একটি  $\gamma$ -ফোটন নিঃসৃত হয়, (ii) একটি  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হয় এবং (iii) একটি পজিট্রন নিঃসৃত হয় তখন ঐ নিউক্লিয়াসের 'নিউট্রন/প্রোটন' অনুপাতের কী হয়? যুক্তিসহ উত্তর দাও।

6. একটি ইউরেনিয়াম পরমাণু U-238 ক্রমে একটি সীসার পরমাণু Pb-206-এ পরিণত হইতে কতগুলি  $\alpha$ -কণা এবং কতগুলি  $\beta$ -কণা নিঃসৃত করে? ইউরেনিয়াম এবং সীসার পারমাণবিক সংখ্যা যথাক্রমে 92 এবং 82।

7.  ${}_{15}\text{P}^{32}$  তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ হইতে  $\beta$ -কণা বাহির হয় এবং  ${}_{16}\text{S}^{32}$ -তে পরিণত হয়। এই মৌলসমূহের সমীকরণ লিখ। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1981 ]

8. একটি তেজস্ক্রিয় মৌল (i) একটি  $\alpha$ -কণা নিঃসৃত করিলে, (ii) একটি ঋণাত্মক  $\beta$ -কণা নিঃসৃত করিলে উহার ভর-সংখ্যা এবং পারমাণবিক সংখ্যার কিরূপ পরিবর্তন হয়?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1982 ]

9.  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ পরপর ছয়টি  $\alpha$ -কণা এবং চারটি  $\beta$ -কণা নিঃসৃত করে। ইহার ফলে উৎপন্ন আইসোটোপের ভরসংখ্যা এবং পারমাণবিক ভরসংখ্যা কত হয়? উক্ত আইসোটোপটিকে কি সনাক্ত করিতে পার? [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1983 ]

10. একটি পোলোনিয়াম পরমাণুর কেন্দ্রক  ${}^{210}_{84}\text{Po}$  বলিতে কি বুঝায়? ইহা হইতে তেজস্ক্রিয় বিকিরণের ফলে পরপর একটি  $\alpha$ -কণা এবং দুইটি  $\beta$ -কণা নিঃসৃত হইল। প্রতিটি ধাপে উৎপন্ন কেন্দ্রকের গঠন কী হইবে? [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1985 ]

11. একটি ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াস ( পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 92, ভরসংখ্যা 238 ) একটি  $\alpha$ -কণা নিঃসৃত করে এবং উৎপন্ন দুইটি নিউক্লিয়াসটি  $\beta$ -কণা নিঃসৃত করে। অন্তিম নিউক্লিয়াসটির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক এবং ভরসংখ্যা নির্ণয় কর। [ আই. আই. টি. অ্যাডমিশন টেন্ট, 1982 ]

12. ইউরেনিয়ামের রেডিও আইসোটোপ  ${}^{238}_{92}\text{U}$  পর্যায়ক্রমে দুইটি  $\beta$ -বিঘটন ঘটাইয়া প্লুটোনিয়াম (Pu)-এর একটি আইসোটোপে রূপান্তরিত হয়। এই আইসোটোপটির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক এবং ভরসংখ্যা নির্ধারণ কর। [ জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1983 ]

13. নিচের নিউক্লীয় বিক্রিয়ার সমীকরণটি সম্পূর্ণ কর এবং ইহার ফলাফলের তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর :  ${}^7_3\text{N}^{4+} + {}^4_2\text{He}^{4+} \rightarrow$  [ জয়েন্ট এন্ট্রান্স, 1983 ]

14. এমন একটি বিঘটন-পরিকল্পনার উল্লেখ কর যাহার সাহায্যে  ${}^{214}_{84}\text{Po}$  পরমাণুর কেন্দ্রক তিনটি কণা নিঃসৃত করিয়া নিজের আইসোটোপে পরিণত হইতে পারে। [ সঙ্কেত :  ${}^{214}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{210}_{82}\text{Pb} \xrightarrow{\beta} {}^{210}_{83}\text{Bi} \xrightarrow{\beta^-} {}^{210}_{84}\text{Po}$  ]

15. তিনটি  $\beta$ -বিঘটন এবং একটি  $\alpha$ -বিঘটনের পর  ${}^6_3\text{Li}$  তেজস্ক্রিয় আইসোটোপটি হইতে কী আইসোটোপ উৎপন্ন হইবে? [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1984 ]

16. একটি অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুকে ( ${}^{27}_{13}\text{Al}$ )-কে একটি প্রোটন ( ${}^1_1\text{H}$ ) দ্বারা আঘাত করিলে একটি হিলিয়াম পরমাণু ( ${}^4_2\text{He}$ ) এবং অন্য একটি পরমাণুর সৃষ্টি হয়। দ্বিতীয় পরমাণুটির গঠন কিরূপ? এই পরমাণুটিকে সনাক্ত করিতে পার কি? [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1984 ]

17. 'রেডিয়ামের অর্ধজীবনকাল 1622 বৎসর।' উক্তিটির তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর।

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

18. (a) তেজস্ক্রিয়তা বলিতে কী বুঝ?

(b) তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে কী কী বিকিরণ নিঃসৃত হয়? ইহাদের ধর্মাবলী আলোচনা কর।

(c) 'রেডিয়ামের অর্ধজীবনকাল 1622' বলিতে কী বুঝ?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1978 ]

19.  $\alpha$ -রশ্মি ও  $\beta$ -রশ্মি তড়িৎ-বাহী কণা দ্বারা গঠিত, আর  $\gamma$ -রশ্মি এক প্রকার তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ তাহা কিরূপে প্রমাণ করিবে?

20. (a) যে-পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে, তেজস্ক্রিয় বিকিরণে তিন প্রকার রশ্মির অস্তিত্ব আছে তাহা বর্ণনা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1980, 1982 ]

(b) তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু বা অর্ধজীবনকাল বলিতে কী বুঝ ব্যাখ্যা কর। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1980 ]

(c) মৌলের কৃত্রিম রূপান্তর সম্পর্কে একটি টিকা লিখ। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1982 ]

21.  $\alpha$ -রশ্মি,  $\beta$ -রশ্মি এবং  $\gamma$ -রশ্মি কী? ইহার কীরূপে আবিষ্কৃত হয়? তেজস্ক্রিয় বিঘটন প্রক্রিয়ার একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। রেডিও আইসোটোপ কী? [ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980 ]

22. তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্যগুলি আলোচনা কর। কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে  $\alpha$ -কণা নিঃসৃত হইলে উহার পারমাণবিক সংখ্যা এবং ভর-সংখ্যার কীরূপ পরিবর্তন হইবে? তেজস্ক্রিয়তার সরণসূত্র কাহাকে বলে?

23. (a) দেখাও যে, তেজস্ক্রিয় বিঘটন সূচক সূত্র (exponential law) মানিয়া চলে। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1980 ]

(b) তেজস্ক্রিয় ভাঙন ধ্রুবক (disintegration constant) কাহাকে বলে? কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের ভাঙন ধ্রুবক ও উহার অর্ধজীবনকালের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

24. রাদারফোর্ডের মৌলান্তর-সংক্রান্ত পরীক্ষাটি আলোচনা কর। ইহাতে যে-কেন্দ্রক বিক্রিয়া ঘটে তাহার সমীকরণ লিখ।

25. নিউট্রন কাহাকে বলে? নিউট্রনের আবিষ্কার-সংক্রান্ত পরীক্ষাটি আলোচনা কর।

26. কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা কাহাকে বলে? কয়েকটি কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের নাম কর। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ গঠন করিবার যে-কোন একটি পরীক্ষা আলোচনা কর।

27. তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ কাহাকে বলে? তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের বিভিন্ন ব্যবহার সম্বন্ধে আলোচনা কর।

28. কৃত্রিম উপায়ে মৌলের রূপান্তর বলিতে কী বুঝায়? কীভাবে এইরূপ রূপান্তর করা হয়? [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1979 ]

29.  ${}_{18}\text{Al}^{27}$  কেন্দ্রকে  $\alpha$ -কণিকা দ্বারা বিঘটিত করিয়া  ${}_{15}\text{P}^{30}$  কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ প্রস্তুত করা হয়। ইহা পজিট্রন নির্গত করিয়া  ${}_{14}\text{Si}^{30}$  কেন্দ্রকে রূপান্তরিত হয়। প্রয়োজনীয় রূপান্তর সমীকরণগুলি লিখ। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1979 ]

30. (a) তেজস্ক্রিয়া কাহাকে বলে? তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে কী কী বিকিরণ নিঃসৃত হয়?

(b) 'রেডিয়ারের অর্ধজীবনকাল 1622 বৎসর'—এই উক্তি দ্বারা কী বুঝ? কোন বস্তুর অর্ধজীবনকাল 15 ঘণ্টা। ঐ বস্তুর প্রারম্ভিক ভর 1 gm হইলে 45 ঘণ্টা পরে উহার কতটা পড়িয়া থাকিবে? [ উদাহরণ 5.1 দ্রষ্টব্য ] [0.125 gm]

(c) কৃত্রিম মৌলান্তর এবং তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ বলিতে কী বুঝ? তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ  ${}_{15}\text{P}^{32}$  হইতে ধনাত্মক  $\beta$ -কণা বাহির হয় এবং  ${}_{14}\text{Si}^{32}$ -তে রূপান্তরিত হয়। প্রয়োজনীয় রূপান্তর সমীকরণটি লিখ। [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1981 ]



31. (a) কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় বলিতে কী বুঝ ? উদাহরণসহ লিখ।  
 (b) কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের ভাঙন ধ্রুবক এবং অর্ধজীবনকালের মধ্যে সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর।  
 [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1986 ]

### গাণিতিক প্রস্নাবলী

32. কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধজীবনকাল 15 ঘণ্টা। ঐ পদার্থের প্রারম্ভিক ভর 1 gm হইলে 45 ঘণ্টা পর উহার কতটা পড়িয়া থাকিবে ?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1981 ] [ 0.125 gm ]

33. স্যাডনের অর্ধজীবনকাল 3.9 দিন। কতদিন পরে কিছু পরিমাণ পরীক্ষাধীন স্যাডনের এক-দশমাংশ মাত্র পড়িয়া থাকিবে ?

[ 12.94 দিন ]

34. 2 gm রেডিয়াম হইতে প্রতি সেকেন্ডে  $7 \times 10^{10}$  সংখ্যক  $\alpha$ -কণা নিঃসৃত হয়। রেডিয়ামের অর্ধজীবনকাল কত ? রেডিয়ামের পারমাণবিক গুরুত্ব 226 এবং অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা  $6.0225 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$ ।

[ 1674 বৎসর ( প্রায় ) ]

35. 50 দিনে একটি তেজস্ক্রিয় উৎসের সক্রিয়তা উহার প্রাথমিক সক্রিয়তার  $\frac{1}{16}$  অংশ হয়। ইহার অর্ধজীবনকাল কত ?

[ লন্ডন বিশ্ববিদ্যালয় ] [  $7\frac{1}{2}$  দিন ]



## কেন্দ্রক বিভাজন ও কেন্দ্রক সংযোজন

*I would like not to underestimate the value of the world view which is the result of scientific effort. We have been led to imagine all sorts of things infinitely more marvelous than the imagings of poets and dreamers of the past.*

—Richard Phillips Feynman

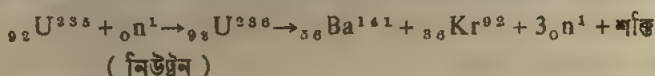
### 6.1 কেন্দ্রক বিভাজন (Nuclear fission)

1934 খ্রীস্টাব্দে ফের্মি ও তাঁহার সহকর্মীরা বিভিন্ন মৌলের কেন্দ্রক-কর্তৃক নিউট্রন আহরণ (neutron capture)-জাতীয় বিক্রিয়া লইয়া পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিতেছিলেন। ফের্মি তাঁহার পরীক্ষার ফল বিচার করিয়া এই সিদ্ধান্তে উপনীত হইলেন যে, ইউরেনিয়াম পরমাণুর উপর নিউট্রন বর্ষণ করিলে কয়েকটি ইউরেনিয়ামোক্তর মৌল (transuranium elements) গঠিত হয়। কিন্তু পরে বুঝা গেল যে, ফের্মির এই অনুমান ভ্রান্ত।

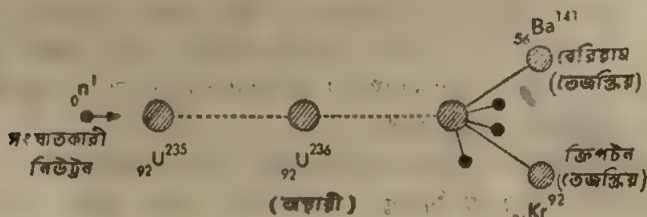
জার্মানিতে অটো হানু (Otto Hahn) এবং তাঁহার সহকর্মী ফ্রিট্জ স্ট্রাসমান (Fritz Strassmann) উপরি-উক্ত প্রক্রিয়ার স্বরূপ নির্ণয়ের চেষ্টায় পরীক্ষামূলক গবেষণা করিতেছিলেন। তাঁহারা লক্ষ্য করেন যে, ইউরেনিয়াম মৌলের উপর নিউট্রন বর্ষণের ফলে যে-সকল নূতন তেজস্ক্রিয় পদার্থ উৎপন্ন হয় তাহার মধ্যে একটির রাসায়নিক ধর্ম বেরিয়াম ( $Z=56$ ) মৌলের ধর্মের অনুরূপ। অনুরূপ পরীক্ষাকালে ফরাসী বিজ্ঞানী কুরী এবং সাডিচ দেখান যে, উৎপন্ন তেজস্ক্রিয় পদার্থগুলির মধ্যে ল্যান্থানাম ( $Z=57$ ) মৌলের পরমাণুও রহিয়াছে।

বেরিয়াম বা ল্যান্থানাম মৌলের পারমাণবিক ভর বা ভর-সংখ্যা ইউরেনিয়ামের তুলনায় অনেক কম বলিয়া তৎকালীন ধারণা হইতে এই প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা করা সম্ভব হইল না, কেননা ইউরেনিয়াম কেন্দ্রক হইতে  $\alpha$ -কণা,  $\beta$ -কণা, প্রোটন ইত্যাদি নিঃসরণের ফলে যে-সকল কেন্দ্রক উৎপন্ন হইতে পারে তাহাদের পারমাণবিক ভর-সংখ্যা ইউরেনিয়ামের ভর-সংখ্যার কাছাকাছি হইবার কথা। এইরূপ প্রক্রিয়ার ইউরেনিয়াম মৌলের পরমাণু অপেক্ষা অনেক হালকা বেরিয়াম বা ল্যান্থানাম পরমাণু গঠিত হইবার কথা হয়। কাজেই হানু এবং স্ট্রাসমান সিদ্ধান্তে আসিলেন

যে, ইউরেনিয়াম কেন্দ্রকে নিউট্রন বর্ষণ করিলে ইউরেনিয়াম কেন্দ্রক দুইটি প্রায় সমান দুই খণ্ডে বিভক্ত হয়। এই বিভক্ত দুই অংশের একটি যদি বেরিয়াম পরমাণুর কেন্দ্রক ( $Z=56$ ) হয় তাহা হইলে অপর অংশটির পারমাণবিক সংখ্যা হওয়া উচিত  $Z=(92-56)$  বা 36, কেননা ইউরেনিয়ামের পারমাণবিক সংখ্যা 92। যে-পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা 36 তাহা প্রকৃতপক্ষে ক্রিপ্টন মৌলের পরমাণু। পরীক্ষার সাহায্যে উপরি-উক্ত বিক্রিয়াজাত পদার্থে ক্রিপ্টনের অস্তিত্বও প্রমাণিত হইল। মাইৎনেয়ার এবং ফ্রিশ (L. Meitner and O. R. Frisch) নিউট্রনের আঘাতে ইউরেনিয়াম পরমাণুর কেন্দ্রকের এইরূপ দুই ভাগে বিভক্ত হওয়াকে কেন্দ্রক বিভাজন (nuclear fission) আখ্যা দেন। কেন্দ্রক বিভাজনের ফলে উৎপন্ন কেন্দ্রকগুলিকে বলা হয় বিভাজনজাত-খণ্ড (fission fragments)। হান্ এবং স্ট্রাসমান-কর্তৃক আবিষ্কৃত কেন্দ্রক বিভাজন বিক্রিয়াকে নিম্নরূপ সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়—



এই সমীকরণটির তাৎপর্য এই যে,  ${}_{92}\text{U}^{235}$  পরমাণুর সহিত একটি উপযুক্ত বেগসম্পন্ন নিউট্রন কণার সংঘাত হইলে প্রথমে ইউরেনিয়ামের অপর একটি আইসোটোপ  ${}_{92}\text{U}^{235}$  সৃষ্টি হয়। এই পরমাণুর কেন্দ্রকটি দুই খণ্ডে বিভক্ত হইয়া



চিত্র 6.1

একটি বেরিয়াম এবং একটি ক্রিপ্টন পরমাণু গঠন করে। এই বিক্রিয়ায় তিনটি নিউট্রন কণাও নিঃসৃত হয়। এই প্রক্রিয়ায় বেরিয়াম ও ক্রিপ্টনের যে-আইসোটোপ উৎপন্ন হয় উহারা উভয়েই তেজস্ক্রিয় (চিত্র 6.1)। এইরূপ কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়ায় বিপুল পরিমাণ শক্তি উদ্ধৃত হয়।

উপরে যে-কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়াটি উল্লেখ করা হইল তাহা একাধিক সম্ভাব্য বিভাজন প্রক্রিয়ার একটি। অর্থাৎ, ইউরেনিয়াম পরমাণু ( ${}_{92}\text{U}^{235}$ ) নিউট্রনের আঘাতে ভিন্নরূপেও বিভাজিত হইতে পারে।

প্রকৃতপক্ষে, বিভাজিত পদার্থগুলি পরীক্ষা করিয়া প্রায় 20টির অধিক মৌলের নত্যাধিক আইসোটোপের অস্তিত্ব প্রমাণিত হইয়াছে। উৎপন্ন আইসোটোপগুলির পারমাণবিক সংখ্যা 34 হইতে 58-এর মধ্যে এবং ভর-সংখ্যা 75 হইতে 160-এর

মধ্যে থাকে। তবে দেখা গিয়াছে যে, 95 এবং 139 ভর-সংখ্যাসম্পন্ন বিভাজনজাত খণ্ড (fission fragments) উৎপন্ন হইবার সম্ভাবনাই বেশি।

## 2.6 কেন্দ্রিক বিভাজনের ব্যাখ্যা

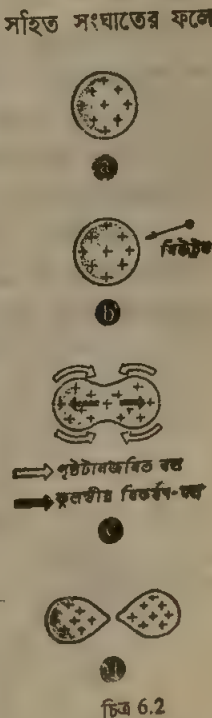
হান্ এবং শ্রাস্মানের আবিষ্কারের কয়েক মাস পর কেন্দ্রিক বিভাজন প্রক্রিয়ার তাত্ত্বিক ব্যাখ্যা করেন বিজ্ঞানী নীলস্ বোর এবং জন হুইলার (John Wheeler)। কেন্দ্রিক বিভাজন সম্পর্কে ইহাই প্রথম এবং শেষ প্রকাশিত বিস্তারিত গবেষণাপত্র। ইহার পর হইতে সকল দেশেই কেন্দ্রিক বিভাজন-সংক্রান্ত গবেষণা চলিতেছে প্রাতিরক্ষা-যবনিকার অন্তরালে গোপনভাবে।

বোর এবং হুইলারের মতবাদ অনুসারে নিউট্রনের সহিত সংঘাতের ফলে ইউরেনিয়াম পরমাণুর বিভাজন ঘটিবার কারণ হইল সংঘাতালিপ্ত ইউরেনিয়াম পরমাণুর দুই অংশের নিউক্লীয় (আকর্ষণী) বল এবং কুলম্বীয় (বিকর্ষণী) বলের পারস্পরিক বিরোধিতা। উক্ত ভর-বিশিষ্ট কেন্দ্রকটিকে একটি আহিত তরল বিন্দু (liquid drop) রূপে কল্পনা করিলে সহজেই এই বিভাজন প্রক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায়। নিউট্রন কণার আঘাতে নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক বিচলিত হইলে উহার গোলায় আকৃতি পরিবর্তিত হইয়া ঈষৎ লম্বাটে ডাম্বেলের আকার ধারণ করিতে পারে। এইরূপ ঘটিলে কেন্দ্রকটির দুই অংশের মধ্যে দুইটি বিরুদ্ধ বল ক্রিয়া করে (চিত্র 6.2)।

(i) নিউক্লীয় তরল-বিন্দুর পৃষ্ঠটান (surface tension) উহাকে পূর্বাঘ্নায় (অর্থাৎ, গোলায় অবস্থায়) ফিরাইয়া আনিতে চায়।

(ii) উপগোলাকৃতি (ellipsoidal) বা ডাম্বেল আকৃতির নিউক্লীয় পদার্থের দুই বিপরীত প্রান্তের সমধর্মী আধানের পারস্পরিক কুলম্বীয় বিকর্ষণ কেন্দ্রকটিকে দুই অংশে বিচ্ছিন্ন করিতে চায়।

ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে পৃষ্ঠটানজনিত বল অপেক্ষাকৃত বেশি হয় বলিয়া ইহাদের সহজে বিভাজিত করা যায় না। কিন্তু বৃহদাকার নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে পৃষ্ঠটানজনিত বল তেমন তীব্র হয় না। এক্ষেত্রে বৈদ্যুতিক বল তীব্রতর হয় বলিয়া আগন্তুক নিউট্রন কণার আঘাতে ভারী নিউক্লীয় তরলবিন্দু বিভাজিত হইয়া দুইটি ক্ষুদ্রতর নিউক্লীয় তরলবিন্দু গঠন করে।



চিত্র 6.2



### 6.3 শৃঙ্খল বিক্রিয়া (Chain reaction)

কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়ায় যখন একটি ইউরেনিয়াম পরমাণু ভাঙিয়া একটি বোরিয়াম এবং একটি ক্রিপ্টন পরমাণু গঠিত হয় তখন প্রতিটি ইউরেনিয়াম কেন্দ্রক হইতে তিনটি করিয়া গৌণ নিউট্রন (secondary neutron) নিঃসৃত হয়। এই বিভাজন ভিন্নরূপে হইতে পারে। দেখা গিয়াছে যে, প্রকৃতপক্ষে প্রতিটি কেন্দ্রকের বিভাজনের ফলে গড়ে 2.5 সংখ্যক নিউট্রন উৎপন্ন হয়। বিভাজিত কেন্দ্রক হইতে মুক্ত প্রতিটি নিউট্রন-কণা পার্শ্ববর্তী অপর কোন ইউরেনিয়াম কেন্দ্রকে আঘাত করিয়া উহার ভাঙন সৃষ্টি করিতে পারে। ঐ কেন্দ্রকটির ভাঙনের ফলেও কতকগুলি গৌণ নিউট্রন সৃষ্টি হইবে। এই নিউট্রনগুলি আবার নূতন কোন কেন্দ্রকে আঘাত করিয়া উহাদের ভাঙন সৃষ্টি করিতে পারে। কাজেই দেখা যাইতেছে যে, একটি কেন্দ্রকে নিউট্রন-বর্ষণ করিয়া উহার ভাঙন সৃষ্টি করিলে ঐ ভাঙনের ক্রিয়াম পার্শ্ববর্তী কেন্দ্রগুলিতে ভাঙন সৃষ্টি হইতে পারে। উহারা ভাঙিয়া আবার অন্যান্য কেন্দ্রকের ভাঙনের জন্য প্রয়োজনীয় নিউট্রন যোগাইতে পারে। এইভাবে ভাঙন ক্রিয়া অতি দ্রুত ব্যাপক হইতে ব্যাপকতর রূপ ধারণ করিয়া ছড়াইয়া পড়িতে পারে। এইরূপ স্বতচ্ছালিত (self-sustained) বিক্রিয়াকে বলা হয় শৃঙ্খল বিক্রিয়া।

6.3 নং চিত্রের সাহায্যে বিক্রিয়াটি বুঝান হইতেছে। প্রথমে একটি উপযুক্ত নিউট্রন কণা আসিয়া একটি ইউরেনিয়াম কেন্দ্রকে আঘাত করিল। ধরা যাক, ইহাতে কেন্দ্রকটি দুইটি খণ্ডে (F, F) বিভাজিত হইল এবং এই বিভাজন-প্রক্রিয়ায়



চিত্র 6.3

তিনটি নিউট্রন ( $N_1, N_2, N_3$ ) নিঃসৃত হইল। এই নিউট্রনগুলির প্রতিটি আবার একটি করিয়া কেন্দ্রকে আঘাত করিবে। ইহাদের ক্রিয়াম তিনটি ইউরেনিয়াম কেন্দ্রক ভাঙিবে। ইহাদের প্রতিটির বিভাজন তিনটি করিয়া নিউট্রন ( $N_3, N_3, N_3$ ) অর্থাৎ, মোট নয়টি নিউট্রন নিঃসৃত হইবে; এই নয়টি নিউট্রন আবার নয়টি কেন্দ্রকে আঘাত করিয়া উহাদের ভাঙন ঘটাইবে এবং প্রতিটি কেন্দ্রক হইতে তিনটি করিয়া (অর্থাৎ, মোট

$9 \times 3$  বা 27টি) নিউট্রন নিঃসৃত হইবে। ফলে, একবার কেন্দ্রক বিভাজন শুরু হইলে উহা ধাপে ধাপে ব্যাপক হইতে ব্যাপকতর আকার ধারণ করিবে।

শৃঙ্খল বিক্রিয়ার ফলে অল্প সময়ে বহু সংখ্যক পরমাণুর বিভাজন ঘটে বলিয়া

ইহাতে বিপুল পরিমাণ শক্তি সৃষ্টি হয়। অনিয়ন্ত্রিত শৃঙ্খল প্রক্রিয়ায় বিপুল পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন করিয়া প্রচণ্ড বিস্ফোরণ ঘটান সম্ভব। পারমাণবিক বোমার (Atomic bomb) বিস্ফোরণে প্রকৃতপক্ষে এই প্রক্রিয়ার সাহায্যেই বিপুল পরিমাণ শক্তি উদ্ভূত হয়।

মানবকল্যাণে কেন্দ্রক বিভাজনজাত শক্তি কাজে লাগাইতে হইলে নিয়ন্ত্রিত হারে শক্তি উৎপাদন করিতে হয়। কেন্দ্রক বিভাজনের সাহায্যে নিয়ন্ত্রিত হারে শক্তি উৎপাদনের জন্য ইতালীয় বিজ্ঞানী এনরিকো ফের্মি আমেরিকার শিকাগো বিশ্ব-বিদ্যালয়ে সর্বপ্রথম একটি কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ক বা নিউক্লিয়ার রিঅাক্টর (nuclear reactor) নির্মাণ করেন।

পারমাণবিক চুল্লী বা নিউক্লিয়ার রিঅাক্টরের প্রধান অংশগুলি হইল :

(i) বিভাজনযোগ্য পদার্থ বা নিউক্লীয় জ্বালানী (Fissionable material or nuclear fuel) : যে-পদার্থের ভাঙনে পারমাণবিক চুল্লীতে পারমাণবিক শক্তি উদ্ভূত হয় উহাকে 'নিউক্লীয় জ্বালানী' বলা হয়। সাধারণত ইউরেনিয়াম-235, প্লুটোনিয়াম-239 ইত্যাদি পদার্থ নিউক্লীয় জ্বালানী রূপে ব্যবহৃত হয়।

(ii) মন্দনক (Moderator) : বিভাজনে উৎপন্ন নিউট্রনগুলির গতিবেগ কমাইবার উদ্দেশ্যে মন্দনক ব্যবহৃত হয়। মন্দনক হিসাবে সাধারণত গ্রাফাইট, প্যারারফিন ভারী জল প্রভৃতি ব্যবহৃত হয়। এই সকল পদার্থের পরমাণুগুলির সহিত সংঘাতের ফলে নিউট্রনের গতিবেগ হ্রাস পায়। উচ্চ বেগসম্পন্ন নিউট্রন অপেক্ষা নিম্ন গতিবেগসম্পন্ন নিউট্রন নিউক্লীয় বিভাজন ঘটাইবার পক্ষে বেশি কার্যকর বলিয়া মন্দনক ব্যবহৃত হয়।

(iii) কতকগুলি নিয়ন্ত্রক দণ্ড (Control rods) : নিউক্লীয় বিভাজন বিক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রণ করিবার উদ্দেশ্যে এই দণ্ডগুলি ব্যবহৃত হয়। ইহারা সাধারণত ক্যাডমিয়াম বা বোরনের তৈয়ারী। এই দণ্ডগুলি নির্দিষ্ট হারে নিউট্রন শোষণ করিয়া লইয়া শৃঙ্খল বিক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রণ করে।

#### 6.4 ভর ও শক্তির তুল্যতা (Equivalence of mass and energy)

মহাবিজ্ঞানী আইনস্টাইন তাঁহার আপেক্ষিকতাবাদে প্রমাণ করিয়াছেন যে, ভর এবং শক্তি পরস্পরের তুল্য। তাঁহার মতবাদ অনুসারে, শক্তি ও ভরের পারস্পরিক রূপান্তর সম্ভব। আইনস্টাইনের এই অভিমত পরীক্ষার দ্বারাও সমর্থিত হইয়াছে।  $m$  পরিমাণ ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হইলে যে-পরিমাণ শক্তি (E) উৎপন্ন হইবে তাহা নিচের সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় —

$$E = mc^2$$

এখানে  $c$  হ'ল শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগ। ইহার মান,  $3 \times 10^{10}$  cm/sec। কাজেই, এক গ্রাম ভরকে রূপান্তরিত করিলে যে-পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয় তাহার মান

$$E_1 = 1 \times (3 \times 10^{10})^2 = 9 \times 10^{20} \text{ আর্গ}।$$

এই শক্তির পরিমাণ কী বিপুল তাহা বুঝাইবার জন্য একটি তুলনার সাহায্য লওয়া যাক। এক কিলোগ্রাম ভরবিশিষ্ট কোন বস্তু যদি প্রতি সেকেন্ডে 1 কিলোমিটার গতিবেগে ধাবিত হইতে থাকে তবে তাহার গতিশক্তির পরিমাণ হইবে।

$$W = \frac{1}{2} \times \text{ভর} \times (\text{গতিবেগ})^2 = \frac{1}{2} \times 10^3 \times (10^5)^2 \text{ আর্গ} = \frac{1}{2} \times 10^{13} \text{ আর্গ}$$

$$\text{এখন, } \frac{E_1}{W} = \frac{9 \times 10^{20}}{\frac{1}{2} \times 10^{13}} = 18 \times 10^7$$

অর্থাৎ, 1 গ্রাম ভরকে শক্তিতে রূপান্তরিত করিলে যে-পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয় তাহা এক কিলোগ্রাম ভরবিশিষ্ট এবং সেকেন্ডে 1 কিলোমিটার গতিবেগে সম্পন্ন আঠার কোটি বস্তুর গতিশক্তির সমান। সুতরাং বুঝা যাইতেছে যে, সামান্য পরিমাণ ভরকে শক্তিতে রূপান্তরিত করিলে কী বিপুল পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয়। কাজেই পদার্থকে 'শক্তির ঘনীভূত রূপ' (concentrated form of energy) বলা যায়। কেন্দ্রক-বিভাজন প্রক্রিয়ায় বা কেন্দ্রক-সংযোজন প্রক্রিয়ায় যে-শক্তি উদ্ভূত হয় তাহার মূলে রহিয়াছে ভরের শক্তিতে রূপান্তর।

ভর ও শক্তি তুল্যতার জন্য শক্তির নিত্যতা সূত্র এবং ভরের নিত্যতা সূত্রের পরিবর্তে ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র (Law of conservation of mass and energy) স্বীকার করিয়া লওয়া হইয়াছে। অর্থাৎ, বিশ্বের মোট ভর বা মোট শক্তি আলাদাভাবে ধ্রুবক নহে; ভর ও শক্তির যোগফল ধ্রুবক।

## 6.5 পারমাণবিক ভর একক (Atomic mass unit)

অক্সিজেনের আইসোটোপ  $O^{16}$  পরমাণুর ভরকে 16 ধরিয়া বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক ভর পরিমাপ করা হয়। এখন অক্সিজেনের উক্ত আইসোটোপের পারমাণবিক ভর 16 বলিয়া এই আইসোটোপের 16 গ্রামে অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যার সমান সংখ্যক পরমাণু থাকিবে।

পারমাণবিক ভরের প্রচলিত একক  $O^{16}$  পরমাণুর ভরের ষোল ভাগের একভাগ। এই একককে পারমাণবিক ভর একক (atomic mass unit) বা সংক্ষেপে এ. এম, ইউ. (a.m.u.) বলা হয়।

$$\text{কাজেই, } 1 \text{ a.m.u.} = \frac{1}{16} \times \frac{16}{N} \text{ গ্রাম}$$

$$\text{এখানে, } N = \text{অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা} = 6.025 \times 10^{23}$$

$$\therefore 1 \text{ a.m.u.} = \frac{1}{16} \times \frac{16}{6.025 \times 10^{23}} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ গ্রাম}$$

## 6.6 মোল কণার শক্তির পরিমাপের প্রচলিত একক— ইলেকট্রন-ভোল্ট

পারমাণবিক পদার্থবিজ্ঞানীরা বিভিন্ন মোল কণার শক্তিকে সাধারণত ইলেকট্রন-ভোল্ট নামক এককে প্রকাশ করেন। 1.5 নং অনুচ্ছেদে এই এককের সংজ্ঞা দেওয়া হইয়াছে। বর্তমান আলোচনার সুবিধার জন্য আমরা পুনরায় এই এককের সংজ্ঞাটি উল্লেখ করিব।

একটি ইলেকট্রন-কণা 1 ভোল্ট বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া গেলে উহা যে-পরিমাণ গতিশক্তি লাভ করে তাহাকে এক ইলেকট্রন-ভোল্ট (electron-volt) শক্তি বলা হয়। ইহাকে সংক্ষেপে 'ই-ভি' (ev) লেখা হয়।

$q$  আধানসম্পন্ন কোন কণা  $V$  বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়া গেলে উহাতে যে-গতিশক্তি সঞ্চিত হয় তাহার মান

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = eV$$

ইলেকট্রন-ভোল্ট এককের সংজ্ঞানুসারে,  $e=1$  ইলেকট্রনীয় আধান এবং  $V=1$  ভোল্ট হইলে  $E=1$  ev হইবে।

কাজেই  $1 \text{ ev} = 1 \text{ ভোল্ট} \times 1 \text{ ইলেকট্রনীয় আধান}$

আবার,  $1 \text{ ভোল্ট} = \frac{1}{300} \text{ e.s.u.}$  এবং ইলেকট্রনীয় আধান  $= 4.80 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.}$

$\therefore 1 \text{ ev} = \frac{1}{300} \times 4.80 \times 10^{-10} \text{ আর্গ} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ আর্গ}$

শক্তি পরিমাপের একক হিসাবে ইলেকট্রন-ভোল্ট (ev) ক্ষুদ্র বলিয়া অনেক সময় শক্তি একক হিসাবে 'মেগা-ইলেকট্রন-ভোল্ট'-নামক একটি বৃহত্তর একক ব্যবহৃত হয়।  
মেগা-ইলেকট্রন-ভোল্ট (Mev)  $= 10^6$  ইলেকট্রন-ভোল্ট

পারমাণবিক ভর একক (a.m.u.) এবং ইলেকট্রন-ভোল্ট (ev)-এর সম্পর্ক :

6.4 নং অনুচ্ছেদে আমরা উল্লেখ করিয়াছি যে, ভর ও শক্তি পরস্পরের তুল্য।  
ইহাদের পারস্পরিক তুল্যতার সমীকরণটি নিম্নরূপ—

$$E = mc^2$$

এই সমীকরণ হইতে পারমাণবিক ভর একক (a.m.u.) এবং শক্তির একক ইলেকট্রন-ভোল্ট (ev)-এর পারস্পরিক সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করা যায়।

$$1 \text{ a.m.u.} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ গ্রাম}$$

$$= 1.66 \times 10^{-24} \times (3 \times 10^{10})^2 \text{ আর্গ} \quad (\because c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/sec})$$

$$= 1.66 \times 9 \times 10^{-4} \text{ আর্গ}$$

$$\text{আবার, } 1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ আর্গ}$$

$$\therefore 1 \text{ a.m.u.} = \frac{1.66 \times 9 \times 10^{-4}}{1.6 \times 10^{-12}} \text{ ev} \approx 931 \text{ Mev}$$



## 6.7 কেন্দ্রক বিভাজনে উদ্ভূত শক্তির পরিমাণ

নিউট্রনের সংঘাতে ইউরেনিয়াম কেন্দ্রকের বিভাজন প্রক্রিয়ায় কী পরিমাণ শক্তি উদ্ভূত হয় নিয়ে তাহা হিসাব করিয়া দেখান হইল। সম্ভাব্য বহুপ্রকার কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়ার মধ্যে এখানে আমরা হানু এবং স্ট্রাসমান আবিষ্কৃত নিম্নোক্ত বিভাজন প্রক্রিয়াটির আলোচনা করিব—



এখন,  $\text{U}^{235}$  পরমাণুর পারমাণবিক ভর  $235.1175 \text{ a.m.u.}$  এবং নিউট্রনের ভর  $1.00898 \text{ a.m.u.}$ ; কাজেই, বিভাজনের পূর্বে কেন্দ্রক বিভাজন বিক্রিয়ায় লিপ্ত ইউরেনিয়াম পরমাণু ও নিউট্রনের ভর  $= 235.1175 + 1.00895 \approx 236.1265 \text{ a.m.u.}$ ; বেরিয়াম পরমাণু  $\text{Ba}^{141}$ -এর পারমাণবিক ভর  $140.9577 \text{ a.m.u.}$  এবং ক্রিপ্টন পরমাণু  $\text{Kr}^{92}$ -এর পারমাণবিক ভর  $91.9264 \text{ a.m.u.}$ ; কাজেই বিভাজনের পর কেন্দ্রক বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির ভর

$$= 140.9577 + 91.9264 + 3 \times 1.00898 = 233.911 \text{ a.m.u.}$$

সুতরাং, বিভাজনের ফলে ভর-হ্রাস,  $\Delta m = 236.1264 - 233.911$

$$= 0.2154 \text{ a.m.u.}$$

এই ভর কেন্দ্রকে বিভাজনের সময় শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

আমরা জানি যে,  $1 \text{ a.m.u.} = 931 \text{ Mev}$

কাজেই, একটি ইউরেনিয়াম কেন্দ্রকের বিভাজনে উৎপন্ন শক্তির পরিমাণ

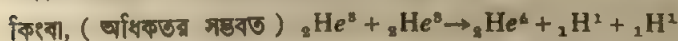
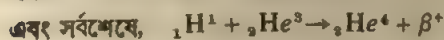
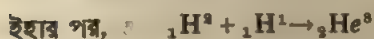
$$0.2154 \times 931 \text{ Mev} \approx 200 \text{ Mev}$$

কেন্দ্রক বিভাজনের কি বিপুল শক্তি উৎপন্ন হয় তাহা বুঝাইবার জন্য একটি তুলনা দেওয়া যায়। এক পাউণ্ড ইউরেনিয়ামকে ( $\text{U}^{235}$ ) বিভাজিত করিলে যে-পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয় সেই শক্তি নিরবিচ্ছিন্নভাবে এক বৎসরকাল 1 মেগাওয়াট হারে শক্তি সরবরাহ করিতে পারে।

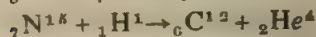
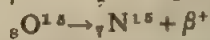
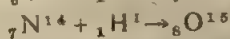
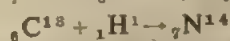
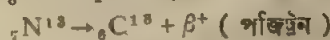
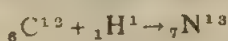
## 6.8 কেন্দ্রকের সংযোজন (Nuclear fusion)

কেন্দ্রক বিভাজন বিক্রিয়ায় একটি ভারী পরমাণু ভাঙিয়া দুইটি অপেক্ষাকৃত হালকা পরমাণু গঠিত হয় এবং এই প্রক্রিয়ায় প্রভূত শক্তি উদ্ভূত হয়। অপর এক প্রকার প্রক্রিয়ার সাহায্যেও কেন্দ্রকীয় শক্তি (nuclear energy) উদ্ভূত হইতে পারে। এই প্রক্রিয়ায় দুইটি অপেক্ষাকৃত হালকা পরমাণুর কেন্দ্রক পরস্পর যুক্ত হইয়া একটি অপেক্ষাকৃত ভারী কেন্দ্রক গঠন করে। এই প্রক্রিয়াকে কেন্দ্রক সংযোজন (nuclear fusion) বলা হয়। চার্লিট হাইড্রোজেন কেন্দ্রক যুক্ত হইয়া একটি হিলিয়াম কেন্দ্রক গঠন এইরূপ একটি প্রক্রিয়া। এই প্রক্রিয়াটি একটি খাপে ঘটে না, কয়েকটি খাপে ইহা সংঘটিত হয়।

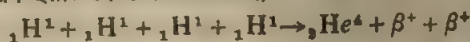
সম্ভাব্য ধাপগুলি নিম্নরূপ হইতে পারে—



অতি উচ্চ উষ্ণতায় ( $10^7$  K) কোন গ্যাসের পরমাণুর ইলেকট্রন এবং কেন্দ্র-গুলি বিচ্ছিন্ন হইয়া প্রচণ্ড গতিবেগে যদৃচ্ছভাবে বিচরণ করিতে পারে। এই অবস্থাকে পদার্থের চতুর্থ অবস্থা (fourth state of matter) বা প্লাজমা অবস্থা (plasma state) বলা হয়। এইরূপ অবস্থার হাক্কা কেন্দ্রকগুলি প্রচণ্ড গতিশক্তির অধিকারী হয়। ফলে সংঘাতের সময় ইহারা পারস্পরিক কুলম্বীয় বিকর্ষণ বল উপেক্ষা করিয়া পরস্পর মিলিত হইতে পারে। বোর-হুইলার তত্ত্বানুসারে উচ্চ গতি-শক্তিসম্পন্ন দুইটি ক্ষুদ্র নিউক্লীয় তরল-বিন্দু পরস্পর যুক্ত হইয়া একটি অপেক্ষাকৃত বড় তরল-বিন্দু সৃষ্টি করিতে পারে। উচ্চ উষ্ণতায় সংঘটিত এই কেন্দ্রিক বিক্রিয়াকে তাপ-নিউক্লীয় বিক্রিয়া (thermo nuclear reaction) বলা হয়। বিজ্ঞানীরা মনে করেন, এইরূপ তাপ-কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার ফলেই সূর্য ও অন্যান্য নক্ষত্রের অভ্যন্তরে প্রভূত শক্তি উৎপন্ন হয়। সূর্যদেহে হাইড্রোজেন কেন্দ্রকগুলি কী প্রক্রিয়ায় যুক্ত হইয়া হিলিয়াম কেন্দ্রক গঠন করে সেই সম্বন্ধে বিজ্ঞানী বেথে (Bethe) একটি অভিমত ব্যক্ত করেন। তাঁহার অভিমত অনুসারে, এই প্রক্রিয়াটি কার্বন বা নাইট্রোজেন কেন্দ্রক সহযোগে নিম্নের ছয়টি ধাপে সংঘটিত হয়—



উপরের সমীকরণ ছয়টি যোগ করিলে পাই,



অর্থাৎ, উপরি-উক্ত বিক্রিয়াগুলি সম্পন্ন হইবার চূড়ান্ত ফল হইল চারিটি প্রোটন একত্রিত হইয়া একটি হিলিয়াম কেন্দ্রক এবং দুইটি পজিট্রন উৎপাদন। লক্ষণীয় যে, উক্ত বিক্রিয়াগুলি কার্বন কেন্দ্রক হইতেও শুরু হইতে পারে, নাইট্রোজেন কেন্দ্রক হইতেও শুরু হইতে পারে। বিক্রিয়ার শেষে কার্বন বা নাইট্রোজেন অপরিবর্তিত থাকিয়া যায়। কাজেই বলা যায়, উপরি-উক্ত কেন্দ্রক সংযোজন বিক্রিয়ায় কার্বন এবং নাইট্রোজেন অনুঘটক (catalyst)-এর ন্যায় ক্রিয়া করে। এই বিক্রিয়াগুলিকে কার্বন-নাইট্রোজেন চক্র (carbon-nitrogen cycle) বলা হয়। প্রসঙ্গত উল্লেখ্য যে,

নক্ষত্রের অভ্যন্তরে উপরি-উক্ত কার্বন নাইট্রোজেন চক্র একবার সম্পূর্ণ হইতে বহু লক্ষ বৎসর সময় লাগে।

হাইড্রোজেন কেন্দ্রকের উল্লিখিত কেন্দ্রক সংযোজন প্রক্রিয়া কাজে লাগাইয়া হাইড্রোজেন বোমা (Hydrogen bomb) নির্মিত হইয়াছে। কেন্দ্রক সংযোজন প্রক্রিয়া ঘটাইবার জন্য যে-উচ্চ উষ্ণতা প্রয়োজন তাহা সৃষ্টি করিবার জন্য প্রথমে ইউরেনিয়াম বা প্লুটোরিয়ামের বিস্ফোরণ (কেন্দ্রক বিয়োজন) ঘটান হয়।

বর্তমানে নিয়ন্ত্রিত হারে কেন্দ্রক সংযোজন করিবার পদ্ধতি উদ্ভাবনের জন্য বিশ্বের নানা স্থানে ব্যাপক গবেষণা চলিতেছে। এই গবেষণা সাফল্যমণ্ডিত হইলে কেন্দ্রক সংযোজন প্রক্রিয়ার সাহায্যে নিয়ন্ত্রিত হারে শক্তি উৎপাদন সম্ভব হইবে। ভবিষ্যতের শক্তি-উৎস হিসাবে কেন্দ্রক সংযোজন প্রক্রিয়া যথেষ্ট সম্ভাবনাময়।

### সার-সংক্ষেপ

জার্মান বিজ্ঞানী অটো হান্ এবং ফ্রিটজ্ স্ট্রাসমান লক্ষ্য করেন যে, ইউরেনিয়াম কেন্দ্রকে নিউট্রন কণার দ্বারা আঘাত করিলে উহা দুইটি প্রায় সমান অংশে ভাঙিয়া যায়। ইহাকে কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়া বলা হয়। এই বিক্রিয়ার সময় ভরের বৃদ্ধান্তরে বিপুল পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায়।

কেন্দ্রক বিভাজনের সময় একটি নিউক্লিয়াসের ভাঙনে একাধিক নিউট্রন উৎপন্ন হইতে পারে। এই গৌণ নিউট্রনগুলি অন্য একাধিক নিউক্লিয়াসের বিভাজন ঘটাইতে পারে এবং প্রতিটি নিউক্লিয়াস হইতেই অনুরূপ গৌণ নিউট্রন নিঃসৃত করিতে পারে। এই প্রক্রিয়ার কেন্দ্রক-বিভাজন প্রক্রিয়া কোন বিভাজন-যোগ্য পদার্থের মধ্যে ছড়াইয়া পড়াকে শৃঙ্খল বিক্রিয়া বলা হয়।

পারমাণবিক ভর একক (a.m.u.) এবং ইলেকট্রন-ভোল্টের সম্পর্কটি নিম্নরূপ :

$$1 \text{ a.m.u.} = 931 \text{ Mev (প্রায়)}$$

যে-নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ার একাধিক হাঙ্কা পরমাণুর কেন্দ্রক পরস্পর যুক্ত হইয়া একটি কেন্দ্রকে পরিণত হয় তাহাকে কেন্দ্রক সংযোজন বলা হয়। উচ্চ উষ্ণতায় সংঘটিত কেন্দ্রক বিক্রিয়াকে তাপ-নিউক্লীয় বিক্রিয়া (thermo-nuclear reaction) বলা হয়। সূর্য এবং অন্যান্য নক্ষত্রে এই প্রক্রিয়ার বিপুল হারে শক্তি উৎপন্ন হয়।

### প্রশ্নাবলী 7

#### হুম্বোল্ডের প্রশ্নাবলী

- কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়ার যে-শক্তির উদ্ভব হয় তাহার উৎস কী?
- নিউট্রনের সাহায্যে একটি ইউরেনিয়াম কেন্দ্রক  ${}_{92}\text{U}^{235}$ -এর বিভাজনে একটি বেরিয়াম পরমাণু  ${}_{56}\text{Ba}^{141}$ , অপর একটি অজানা পরমাণুর কেন্দ্রক, তিনটি নিউট্রন এবং বিপুল পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয়। অজানা পরমাণুটিকে সনাক্ত কর।

[ সন্দেহ : অজানা পরমাণুটি হইল ক্রিপ্টন,  $^{86}\text{Kr}^{92}$  । 6.1 নং অনুচ্ছেদের আলোচনা দ্রষ্টব্য । ]

3. 'নিউক্লিয়াসকে একটি তরলবিন্দুর সহিত তুলনা করিলে সহজেই কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা পাওয়া যায়।' উক্তিটি আলোচনা কর ।

### নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

4. কেন্দ্রক-বিভাজন প্রক্রিয়া কাহাকে বলে ? ইহার প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলি কী কী ? [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1982 ] কেন্দ্রক বিভাজন সম্বন্ধে বোর-হুইলার তত্ত্বটি আলোচনা কর ।

5. (a) কেন্দ্রক বিভাজনের ফলে কীরূপে শক্তি নির্গত হয় তাহা বুঝাইয়া বল ।

(b) 1 মিলিগ্রাম ভরের সমতুল্য শক্তির পরিমাণ আর্গন এককে প্রকাশ কর ।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1980 ]

6. কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়া এবং শৃঙ্খল বিক্রিয়া কাহাকে বলে ? কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়ার যে-বিপুল শক্তি উদ্ভূত হয় তাহার উৎস কী ?

7. ভর ও শক্তির তুল্যতা বলিতে কি বুঝ ? ইহা কেন্দ্রক বিভাজন ও কেন্দ্রক সংযোজন প্রক্রিয়ার শক্তির উদ্ভব কীরূপে ব্যাখ্যা করে ? [ সংসদের নমুনা প্রশ্ন, 1980 ]

8. কেন্দ্রক বিভাজন এবং কেন্দ্রক সংযোজন প্রক্রিয়ার বৈসাদৃশ্য এবং সাদৃশ্য কী ? কেন্দ্রক সংযোজন প্রক্রিয়ার একটি ব্যবহারের উল্লেখ কর ।

[ সংসদের নমুনা প্রশ্ন; 1978 ]

9. (a) শক্তি ও ভরের তুল্যতা বলিতে কী বুঝায় ?

(b) নিউক্লিয়ার রিঅ্যাক্টর কীভাবে কাজ করে ?

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1981 ]

10. পারমাণবিক ভর একক কাহাকে বলে ? ইলেকট্রন-ভোল্ট বলিতে কী বুঝ ? পারমাণবিক ভর এককের সহিত ইলেকট্রন-ভোল্ট এককের সম্পর্ক কী ?

11. কেন্দ্রক সংযোজন প্রক্রিয়া কাহাকে বলে ? উদাহরণসহ বুঝাও । [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1982 ] চারটি হাইড্রোজেন কেন্দ্রক সংযোজিত হইয়া হিলিয়াম-কেন্দ্রক গঠনের কার্বন-নাইট্রোজেন চক্রটি আলোচনা কর ।

12. ঢীকা লিখ : (i) কেন্দ্রক বিভাজন, (ii) কেন্দ্রক সংযোজন, [ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1986 ] (iii) শৃঙ্খল বিক্রিয়া, (iv) তাপ-নিউক্লীয় বিক্রিয়া, (v) শক্তি ও ভরের তুল্যতা । [ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1986 ]

13. (a) নিউক্লীয় চুল্লী কাহাকে বলে ?

(b) নিউক্লীয় সংযোজন প্রক্রিয়ার কীরূপে শক্তি নির্গত হয়, বুঝাইয়া দাও ।

[ উচ্চ মাধ্যমিক ( ত্রিপুরা ), 1986 ]



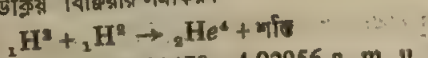
গাণিতিক প্রশ্নাবলী

14. আর্গ এককে এবং জুল এককে 1 মিলিগ্রাম ভরের সমতুল্য শক্তির পরিমাণ প্রকাশ কর।  
[ উচ্চ মাধ্যমিক ( পশ্চিমবঙ্গ ), 1980 ]  
[  $9 \times 10^{17}$  erg,  $9 \times 10^{10}$  J ]

15. এক পারমাণবিক ভর একক (a. m. u.) পরিমাণ ভরের তুল্য শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর। দেওয়া আছে যে, 1 পারমাণবিক ভর একক =  $1.66 \times 10^{-24}$  gm এবং  $1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-12}$  erg। [931 Mev]

16. যখন দুইটি ডয়টেরিয়াম নিউক্লিয়াস সংযোজিত হইয়া একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস গঠন করে তখন কী পরিমাণ শক্তি মুক্ত হয় নির্ণয় কর। দেওয়া আছে যে, ডয়টেরিয়াম নিউক্লিয়াস ( ${}_1\text{H}^2$ )-এর ভর =  $2.01478 \text{ a. m. u.}$  এবং একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ( ${}_2\text{He}^4$ )-এর ভর =  $4.00388 \text{ a. m. u.}$

[ সূত্রকত : এই নিউক্লিয় বিক্রিয়ার সমীকরণ



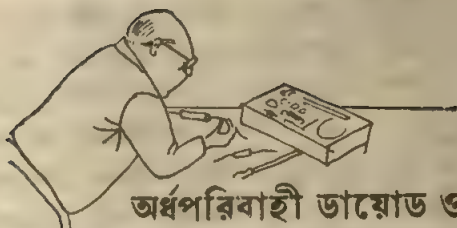
দুইটি ডয়টেরিয়াম পরমাণুর ভর =  $2 \times 2.01478 = 4.02956 \text{ a. m. u.}$

হিলিয়াম পরমাণুর ভর =  $4.00388 \text{ a. m. u.}$

ভরের ঘাটতি (mass defect),  $\Delta m = (4.02956 - 4.00388) \text{ a. m. u.}$   
=  $0.02568 \text{ a. m. u.}$

আমরা জানি যে,  $1 \text{ a. m. u.} = 931 \text{ Mev}$

কাজেই, দুইটি ডয়টেরিয়াম কেন্দ্রকের সংযোজন মুক্ত শক্তির পরিমাণ,  $\Delta m \cdot c^2$   
=  $0.02568 \times 931 \text{ Mev} = 24 \text{ Mev}$  ( প্রায় ) ]



## অর্ধপরিবাহী ডায়োড ও ট্রানজিস্টর

*The two processes, that of science and that of art, are not very different. Both science and art form in the course of the centuries a human language by which we can speak about the more remote parts of reality.*

—Werner Heisenberg

### 7.1 সেনিকণ্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী (Semiconductor)

তড়িৎ-শক্তি আবিষ্কারের গোড়ার দিকেই বিভিন্ন পদার্থের তড়িৎ-পরিবহণ-ক্ষমতা বিচার করিয়া উহাদিগকে পরিবাহী এবং অপরিবাহী—এই দুইটি প্রধান ভাগে ভাগ করা হইয়াছিল। কিন্তু কোন কোন পদার্থকে এই দুই শ্রেণীর কোনটিতে অন্তর্ভুক্ত করা যায় না। ইহাদিগকে বলা হয় সেনিকণ্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী। আধুনিক সংজ্ঞানুসারে, উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত যে-সকল পদার্থের তড়িৎ-পরিবাহিতা বাড়িতে থাকে কেবল তাহাদিগকেই অর্ধপরিবাহী বলা হয়। পরম শূন্য (absolute zero) উষ্ণতায় ইহাদের পরিবাহিতা শূন্য। সাধারণ ধাতুগুলির ক্ষেত্রে ইহার বিপরীত ধর্ম লক্ষ্য করা যায়; অর্থাৎ, উষ্ণতা বাড়িলে ইহাদের পরিবাহিতা কমিতে থাকে। মুক্ত ইলেকট্রনই ধাতব পদার্থের তড়িৎ-পরিবাহিতার জন্য দায়ী—ড্রুড এবং লন্ডেনের এই তত্ত্ব বিজ্ঞানী-মহলে সর্বজনস্বীকৃত। কিন্তু অর্ধপরিবাহীতে আপাতদৃষ্টিতে এইরূপ কোন মুক্ত ইলেকট্রন নাই, তাহা সত্ত্বেও ইহারা কীরূপে তড়িৎ-পরিবহণে সক্ষম তাহা নিয়ে আলোচিত হইল।

শক্তির দিক দিয়া বিচার করিয়া দেখা গিয়াছে যে, কোন পরমাণুতে নির্দিষ্ট শক্তিস্তরে ইলেকট্রন সংখ্যার সর্বোচ্চ মান নির্দিষ্ট।  $n$ -তম স্তরে ইলেকট্রন সংখ্যার সর্বোচ্চ মান  $2n^2$  অর্থাৎ, প্রথম স্তরে ইলেকট্রন-সংখ্যার সর্বোচ্চ মান  $2 \cdot 1^2$  বা ২, দ্বিতীয় স্তরে  $2 \cdot 2^2$ , বা ৮, তৃতীয় স্তরে  $2 \cdot 3^2$  বা ১৮ ইত্যাদি।

কোন মৌলের ধৌগ গঠন করিবার ক্ষমতা নির্ভর করে উহার বহিঃস্থ স্তরের (মোজ্যতা স্তরের) ইলেকট্রন সংখ্যার উপর। এই ইলেকট্রনগুলিকে বলা হয় মোজ্যতা ইলেকট্রন (valence electrons)।

রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় বিভিন্ন পরমাণু পরস্পরের মধ্যে ইলেকট্রন আদান-



চিত্র 7.1

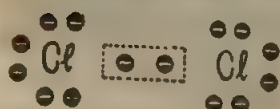


চিত্র 7.2

প্রদান করিয়া বা পরস্পরের ইলেকট্রন ভাগা-ভাগি করিয়া লইয়া বহিস্তম স্তরে মোট আটটি ইলেকট্রন রাখিতে চায় ; কেননা বহিঃস্থ কক্ষে আটটি ইলেকট্রন থাকিলেই উহারা সবচেয়ে বেশি স্থায়ী (stable) হয়। একটি ক্লোরিন পরমাণুতে 17টি ইলেকট্রন থাকে। ইহার

মধ্যে প্রথম কক্ষে 2টি, দ্বিতীয় কক্ষে 8টি এবং বহিঃস্থ কক্ষে বাকি 7টি ইলেকট্রন থাকে (চিত্র 7.1)। একটি হাইড্রোজেন পরমাণু যখন একটি ক্লোরিন পরমাণুর সহিত রাসায়নিকভাবে যুক্ত হয় তখন হাইড্রোজেন পরমাণু ক্লোরিন পরমাণুকে একটি ইলেকট্রন দিয়া নিজে ধনাত্মক আয়নে পরিণত হয়। ফলে ইহারা পরস্পরের সহিত যুক্ত হইয়া হাইড্রোজেন ক্লোরাইড যৌগ গঠন করে (চিত্র 7.2)। এইরূপ যৌগকে তড়িৎযোজী বা আয়নিক যৌগ (electrovalent or ionic compound) বলা হয়।

যখন একটি ক্লোরিন পরমাণু অপর একটি ক্লোরিন পরমাণুর সহিত মিশ্রিত

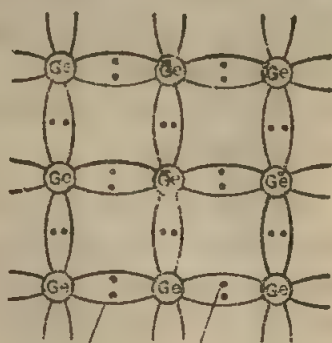


চিত্র 7.3

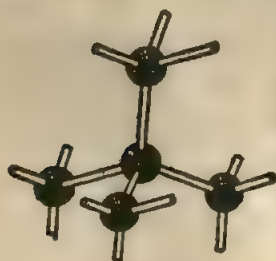
হইয়া ক্লোরিন অণু গঠন করে তখন উহারা পরস্পরকে একটি করিয়া ইলেকট্রন দিয়া একটি ইলেকট্রন-সেতু গঠন করে (চিত্র 7.3)। এই দুইটি ইলেকট্রনকে উভয় পরমাণুর অন্তর্ভুক্ত মনে

করা যায়। এইভাবে উৎপন্ন যৌগকে সমযোজী যৌগ (covalent compound) বলে।

সমস্ত অর্ধপরিবাহীই সমযোজী। উদাহরণস্বরূপ, জার্মেনিয়াম মৌলের কথা ধরা যাক। একটি জার্মেনিয়াম পরমাণুর প্রোটন এবং ইলেকট্রন সংখ্যা 32। ইহার বহিস্তম কক্ষে মোট 4টি ইলেকট্রন থাকে। জার্মেনিয়াম স্ফটিকগুলি



(সমযোজী বন্ধনী) (যোজ্যতা ইলেকট্রন)



চিত্র 7.4

চিত্র 7.5

ঘনকাকার। ইহার চতুস্তলক (tetrahedral) এককের দ্বারা তৈয়ারী। প্রতিটি

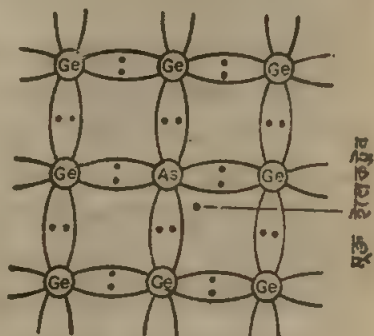
জার্মেনিয়াম পরমাণু অপর চারিটি জার্মেনিয়াম পরমাণুর সহিত এমনভাবে যুক্ত থাকে যাহাতে উহারা একটি চতুস্তলকের চারিটি শীর্ষবিন্দুতে অবস্থান করে (চিত্র 7.4)। প্রতিটি জার্মেনিয়াম পরমাণু অপর চারিটি জার্মেনিয়াম পরমাণুর সহিত সমযোজী বোণের মত চারি জোড়া ইলেকট্রন সেতু রচনা করে (চিত্র 7.5)। ইহাতে ইহাদের বহিস্তম স্তরে ইলেকট্রনের সংখ্যা হয় ৪টি।

স্বভাবী অর্ধপরিবাহী (Intrinsic semiconductor) এবং অস্বভাবী বা অধিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী (Extrinsic semiconductor) : কতকগুলি অর্ধপরিবাহীকে উত্তপ্ত করিলে উহাদের যোজ্যতা-ইলেকট্রনগুলি গতিশক্তি লাভ করিয়া যোজ্যতা স্তর হইতে পরিবহণ স্তরে উন্নীত হয়। এই অবস্থায় উহারা তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবে সচল হইতে পারে। জার্মেনিয়াম, সিলিকন, লেড সালফাইড ইত্যাদি পদার্থ এইরূপ অর্ধপরিবাহীর উদাহরণ। পরম শূন্য উষ্ণতায় এই সকল পদার্থের পরিবহণ স্তরে কোন ইলেকট্রন থাকে না বলিয়া এই উষ্ণতায় ইহাদের পরিবাহিতাও শূন্য হয়। এই ধরনের অর্ধপরিবাহীকে স্বভাবী অর্ধপরিবাহী বলা হয়।

অপর এক প্রকার অর্ধপরিবাহী আছে, যাহারা পরিবাহিতা লাভ করে উহাদের মধ্যবর্তী অপদ্রব্যের (impurities) জন্য। ইহাদের বলা হয় অস্বভাবী বা অধিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী। অস্বভাবী অর্ধপরিবাহী দুই প্রকার, যথা—(i) n-জাতীয় অর্ধপরিবাহী (n-type semiconductor) এবং (ii) p-জাতীয় অর্ধপরিবাহী (p-type semiconductor)।

(i) n-জাতীয় অর্ধপরিবাহী : ধরা যাক, একটি জার্মেনিয়াম স্ফটিকে একটি জার্মেনিয়াম পরমাণু একটি আর্সেনিক পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হইয়াছে (উভয় মৌলের স্ফটিকের গঠন-রীতি এক প্রকার হইলে এবং ইহাদের পরমাণুর আয়তনে বিশেষ তারতম্য না থাকিলে এইরূপ

প্রতিস্থাপন সম্ভব)। আর্সেনিক পরমাণুতে ইলেকট্রন-সংখ্যা 33, অর্থাৎ জার্মেনিয়াম পরমাণুর ইলেকট্রন-সংখ্যা অপেক্ষা এক বেশি। সুতরাং ইহার যোজ্যতা স্তরে পাঁচটি ইলেকট্রন থাকে। কিন্তু চারিটি জার্মেনিয়াম পরমাণুর সহিত সমযোজী বন্ধনী গঠন করিয়া উহার গঠন-বৈশিষ্ট্য অক্ষুণ্ণ রাখিতে মোট চারিটি ইলেকট্রন প্রয়োজন। কাজেই প্রতিটি আর্সেনিক পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন উদ্ধৃত থাকে



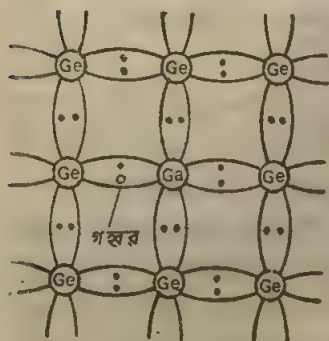
চিত্র 7.6

(চিত্র 7.6)। আর্সেনিক অপদ্রব্যযুক্ত জার্মেনিয়ামের এই উদ্ধৃত ইলেকট্রনটি আধান-সংবাহক (carrier) রূপে কাজ করে। ইহাতে অধিশুদ্ধ জার্মেনিয়ামের পরিবাহিতা



বাড়ে। এইরূপ অর্ধপরিবাহীতে ঋণাত্মক (negative) তড়িৎদাহিত ইলেকট্রন উৎস থাকে বলিয়া ইহাদের ঋণ-জাতীয় বা  $n$ -জাতীয় অর্ধ-পরিবাহী বলা হয়। ইহারা ইলেকট্রন সরবরাহ করে বলিয়া ইহাদিগকে দাতা (donor) বলা হয়।

(ii)  $p$ -জাতীয় বা ধন-জাতীয় অর্ধ-পরিবাহী ( $p$ -type semiconductor) :



চিত্র 7.7

ধরা যাক, জার্মেনিয়ামের একটি পরমাণুকে গ্যালিয়ামের একটি পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হইল। আগতুক গ্যালিয়াম পরমাণুতে জার্মেনিয়াম পরমাণুর তুলনায় একটি ইলেকট্রন কম থাকে, কারণ গ্যালিয়াম পরমাণুর মোট ইলেকট্রন সংখ্যা 13 এবং ষোড়জাত-ইলেকট্রন সংখ্যা 3টি। ফলে সমযোজী বন্ধনীতে একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি থাকে। ইহাকে গহ্বর (hole) বলা হয়। কোন ষোড়জাত-ইলেকট্রন এই

ঘাটতি পূরণ করিতে আগাইয়া আসিলে পিছনে একটি গহ্বর বা শূন্যতা সৃষ্টি করে (চিত্র 7.7)। এই গহ্বর (hole) পূরণ করিবার জন্য অপর একটি ইলেকট্রন আগাইয়া আসিতে পারে। এইভাবে একটি 'ইলেকট্রন' আসিয়া একটি গহ্বর পূরণ করিলে গহ্বরের স্থানান্তর (hole flow) ঘটে। সুতরাং, এইরূপ গহ্বরও আধান-সংবাহক (carrier)-এর নামে ক্রিয়া করিতে পারে। ধনাত্মক গহ্বরের জন্য বা ইলেকট্রনের ঘাটতির জন্য যে-সকল অর্ধপরিবাহী পরিবাহিতা লাভ করে ইহাদিগকে ধন-জাতীয় বা  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী বলা হয়। ইলেকট্রন গ্রহণ করে বলিয়া ইহাদিগকে গ্রহীতা (acceptor) বলা হয়।

## 7.2 অর্ধপরিবাহী ডায়োড (Semiconductor diodes)

$p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ নির্ধারিত হয় মূলত গহ্বরপ্রবাহ (hole flow) দ্বারা। এইজন্য  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীতে গহ্বরগুলি হইল প্রবাহের সংখ্যাগুরু বাহক (majority carriers) এবং ইলেকট্রনগুলি হইল সংখ্যালঘু বাহক (minority carriers)। অনুসুপভাবে,  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রনগুলি হইল সংখ্যাগুরু বাহক এবং গহ্বরগুলি হইল সংখ্যালঘু বাহক।

কেবলমাত্র একটি  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী বা একটি  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীর দুই প্রান্তে কোন বিভব-বৈষম্য প্রতিষ্ঠা করিলে উহার মধ্য দিয়া যে-তড়িৎ-প্রবাহ যাইবে তাহার অভিমুখ বিভব-বৈষম্যের অভিমুখের উপর নির্ভর করিলেও তড়িৎ-প্রবাহের মান বিভব-বৈষম্যের অভিমুখের উপর নির্ভর করে না। ইহার তাৎপৰ্য এই যে,  $n$ -জাতীয় বা  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীর রোধ বিভব-বৈষম্যের অভিমুখের উপর নির্ভরশীল

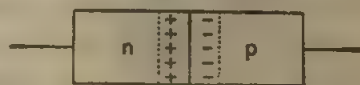
নয়। কিন্তু দেখা গিয়াছে যে, একটি  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী এবং একটি  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীকে পরস্পরের সংস্পর্শে রাখিলে যে-অর্ধপরিবাহী-যুগ্ম গঠিত হয় উহার রোধ উক্ত যুগ্মের দুইপ্রান্তের প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্যের অভিমুখের উপর নির্ভরশীল।

অর্ধপরিবাহী-যুগ্মের এই ধর্মের ফলে ইহা

ডায়োড ভ্যালভের ন্যায় ক্রিয়া করে। এইজন্য

অর্ধপরিবাহী-যুগ্মকে অর্ধপরিবাহী ডায়োড (semiconductor diode) বলা হয়।

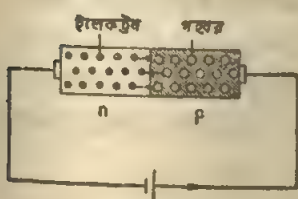
7.8 নং চিত্রে এইরূপ একটি অর্ধপরিবাহী-যুগ্ম দেখান হইয়াছে।



চিত্র 7.8

তাপীয় উত্তেজনার ফলে (due to thermal agitation)  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী হইতে কিছু পরিমাণ ইলেকট্রন  $n$  এবং  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীর বিভেদতলের মধ্য দিয়া  $p$ -অঞ্চলে প্রবেশ করে। অনুরূপভাবে, কিছু পরিমাণ ধনাত্মক গহ্বর  $p$ -অঞ্চল হইতে বিভেদ-তলের মধ্য দিয়া  $n$ -অঞ্চলে আসে। ইহাতে  $n$ -অঞ্চলের কিছু অংশ ধনাত্মক তড়িতে এবং  $p$ -অঞ্চলের কিছু অংশ ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হয়। ফলে, এই দুই অঞ্চলের সংযোগস্থলে একটি 'বিভব-প্রাচীর' (potential barrier) সৃষ্টি হয় (চিত্র 7.8)। এই বিভব-প্রাচীর উপরি-উক্ত ইলেকট্রন-প্রবাহ এবং গহ্বর-প্রবাহকে বাধা দেয় বলিয়া একটি সাম্য প্রতিষ্ঠিত হয়।

এইবার একটি ব্যাটারীকে অর্ধপরিবাহী-যুগ্মের দুইপ্রান্তে এমনভাবে যুক্ত করা হইল যাহাতে  $n$ -জাতীয় অঞ্চলের সহিত ইহার ঋণাত্মক তড়িদ্বার এবং  $p$ -জাতীয় অঞ্চলের সহিত ইহার ধনাত্মক তড়িদ্বার যুক্ত হয় (চিত্র 7.9)। এই সময় ব্যাটারীর ঋণাত্মক তড়িদ্বারের প্রভাবে ইলেকট্রনগুলি বিকর্ষিত হইয়া



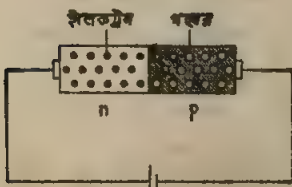
চিত্র 7.9

দুই অর্ধপরিবাহীর বিভেদ-তলের দিকে যায়; অনুরূপভাবে ধনাত্মক তড়িদ্বারের বিকর্ষণে গহ্বরগুলি বিভেদ-তলের দিকে যায়। ইহাতে বিভেদ-তলের বিভব-প্রাচীরের উচ্চতা নামিতে থাকে এবং প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্যের মান একটি ন্যূনতম মান অপেক্ষা বেশি হইলে বিভেদ-তলে কোন বিভব-প্রাচীর থাকে না। এই অবস্থার অর্ধপরিবাহী-যুগ্মের মধ্য দিয়া সহজেই তড়িৎ

প্রবাহ চলে। অর্ধপরিবাহী-যুগ্মের সহিত ব্যাটারীর এইরূপ সংযোগকে সম্মুখ প্রবাহ বা সম্মুখ বায়াস্ (forward bias) বলা হয়।

এইবার ব্যাটারীর দুই তড়িদ্বারের সংযোগ বদলাইয়া ইহাকে অর্ধপরিবাহী-যুগ্মের দুইপ্রান্তে এমনভাবে যুক্ত করা হইল যাহাতে  $n$ -জাতীয় অঞ্চলটি ব্যাটারীর ধনাত্মক মেবুর সহিত এবং  $p$ -জাতীয় অঞ্চলটি ব্যাটারীর ঋণাত্মক মেবুর সহিত যুক্ত হয়

(চিত্র 7.10)। এই অবস্থার প্রযুক্ত তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবে  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীতে



চিত্র 7.10

ইলেকট্রনগুলি এবং  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীতে গহ্বরগুলি বিভেদ-তল হইতে দূরে সরিয়া যািতে থাকে। ইহাতে বিভব-প্রাচীরের উচ্চতা বাড়িতে থাকে। এই বিভব-প্রাচীর প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্যের বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে বলিয়া এই সময় বর্তনীতে কার্যত কোন প্রবাহ থাকে না।

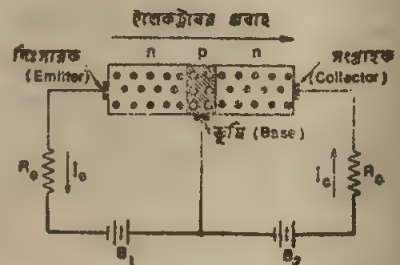
অর্ধপরিবাহীর দুইপ্রান্তে ব্যাটারীর এইরূপ সংযোগকে বিপরীত ধ্রুবন বা বিপরীত বায়াস্ (reverse bias) বলা হয়।

লক্ষণীয় যে, ডায়োড ভাল্ভের ন্যায় অর্ধপরিবাহী ডায়োডেও কেবলমাত্র একই দিকে (কার্যত) তড়িৎ-প্রবাহ চলে। কাজেই এইরূপ  $n$ - $p$  অর্ধপরিবাহী যুগ্মের দুইপ্রান্তে পরিবর্তী বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে বর্তনীতে একমুখী প্রবাহ পাওয়া যায়। কাজেই, ডায়োড ভাল্ভের ন্যায় অর্ধপরিবাহী ডায়োডকে একমুখীকারক বা রেক্টিফায়ার (rectifier) রূপে ব্যবহার করা যায়।

### 7.3 ট্রানজিস্টর (Transistor)

1948 খ্রীষ্টাব্দে আমেরিকার বেল টেলিফোন ল্যাবরেটরীর বার্ডিন (Bardeen) এবং ব্র্যাটেন (Brattain) নামক দুই বিজ্ঞানী অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টর আবিষ্কার করেন।  $n$ - $p$ - $n$  এবং  $p$ - $n$ - $p$ -এই দুই জাতীয় অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড আছে।  $n$ - $p$ - $n$  ট্রানজিস্টরে দুই পার্শ্বে থাকে  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী অঞ্চল এবং ইহাদের মাঝখানে থাকে একটি পাতলা  $p$ -জাতীয় অঞ্চল। অনুরূপভাবে,  $p$ - $n$ - $p$  ট্রানজিস্টরে দুই পার্শ্বে থাকে  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী অঞ্চল এবং ইহাদের মাঝখানে থাকে একটি পাতলা  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী অঞ্চল।

সেমিকন্ডাক্টর ডায়োড বা অর্ধপরিবাহী ডায়োড যেমন ডায়োড ভাল্ভের ন্যায় ক্রিয়া করে, অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টর তেমন ট্রায়োড ভাল্ভের ন্যায় ক্রিয়া করে।  $n$ - $p$ - $n$  এবং  $p$ - $n$ - $p$  ট্রানজিস্টরের কার্যনীতি মূলত এক বলিয়া আমরা কেবলমাত্র  $n$ - $p$ - $n$  ট্রানজিস্টরের কার্যনীতি আলোচনা করিব। 7.11 নং চিত্রে একটি  $n$ - $p$ - $n$  ট্রানজিস্টর বর্তনী দেখান হইয়াছে। ট্রানজিস্টর বর্তনীর বাম পার্শ্বের অর্ধপরিবাহী যুগ্মের সহিত



চিত্র 7.11

ব্যাটারী  $B_1$  এইরূপভাবে যুক্ত থাকে বাহ্যতে ইহার ঋণাত্মক মেবু  $n$ -জাতীয় অঞ্চলের

সহিত এবং ধনাত্মক মেবু  $p$ -জাতীয় অঞ্চলের সহিত যুক্ত থাকে। অর্থাৎ এই অর্ধপরিবাহী-যুগ্মের বর্তনীতে সম্মুখ ধুবন বা সম্মুখ ব্যারাস (forward bias) বর্তমান। ডানপার্শ্বের অর্ধপরিবাহী-যুগ্মের সহিত ব্যাটারী  $B_2$  এমনভাবে যুক্ত আছে যাহাতে ইহার ধনাত্মক মেবুর সহিত  $n$ -জাতীয় অঞ্চল এবং ঋণাত্মক মেবুর সহিত  $p$ -জাতীয় অঞ্চলটি সংযোগ রক্ষা করে। অর্থাৎ, ডানপার্শ্বের অর্ধপরিবাহী-যুগ্মে বিপরীত ধুবন বা বিপরীত ব্যারাস (reverse bias) বর্তমান।

সম্মুখ ব্যারাসে বিদ্যমান বামপার্শ্বের  $n$ -অঞ্চলে যুক্ত তড়িৎদ্বারকে বলা হয় নিঃসারক (emitter)। বিপরীত ব্যারাসে যুক্ত ডানপার্শ্বের  $n$ -অঞ্চলকে বলা হয় সংগ্রাহক (collector) এবং মধ্যবর্তী  $p$ -অঞ্চলের সহিত যুক্ত তড়িৎদ্বারটিকে বলা হয় ভূমি (base)। ট্রানজিস্টরের নিঃসারক, সংগ্রাহক এবং ভূমি যথাক্রমে ট্রায়োড ভাল্ভের ক্যাথোড, অ্যানোড এবং গ্রিডের সহিত তুলনীয়।

ট্রায়োড ভাল্ভের ন্যায় ট্রানজিস্টরও পরিবর্তী বিভব-বৈষম্যকে বিবর্তিত করিতে পারে। ট্রায়োড ভাল্ভের অন্যান্য কাজও ট্রানজিস্টর দ্বারা সম্পাদিত হয়। 7.11 নং চিত্রে যে-ট্রানজিস্টর বর্তনী দেখান হইয়াছে তাহা ক্ষমত। বিবর্ধক (power amplifire) রূপে ক্রিয়া করিতে পারে। নিম্নে ইহার কার্যনীতি আলোচনা করা হইতেছে।

ভূমির সাপেক্ষে সংগ্রাহক ঋণাত্মক বিভবে রহিয়াছে বলিয়া ব্যাটারী  $B_1$ -কর্তৃক প্রযুক্ত তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবে বামপার্শ্বের  $n$ -অঞ্চলের ইলেকট্রন  $p$ -অঞ্চলের দিকে প্রবাহিত হয়।  $p$ -অঞ্চলের বেধ খুব কম বলিয়া এই ইলেকট্রনগুলির অধিকাংশই সংগ্রাহক অঞ্চলে প্রবাহিত হয়। সংখ্যাগুরু বাহক ইলেকট্রনের প্রবাহ ছাড়াও সংখ্যালঘু বাহক গহ্বরের প্রবাহের ফলে বর্তনীতে সামান্য তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়।

যদি নিঃসারক শাখায় (emitter branch) প্রবাহ  $I_e$  এবং এই শাখার রোধ  $R_e$  হয় তাহা হইলে নিঃসারক শাখায় উদ্ভূত শক্তির হার  $I_e^2 R_e$ । অনুরূপভাবে সংগ্রাহক শাখার উদ্ভূত শক্তির হার  $I_c^2 R_c$ , এখানে  $I_c$  এবং  $R_c$  যথাক্রমে সংগ্রাহক শাখার প্রবাহমাত্রা এবং রোধ। নিঃসারক শাখা সম্মুখ ব্যারাসে এবং সংগ্রাহক শাখা বিপরীত ব্যারাসে যুক্ত বলিয়া সংগ্রাহক শাখার রোধ  $R_c$  নিঃসারক শাখার রোধ অপেক্ষা অনেক বড় হয়। সংগ্রাহকে সরবরাহিত শক্তির হার এবং নিঃসারকে সরবরাহিত শক্তির হারের অনুপাত

$$A = \frac{I_c^2 R_c}{I_e^2 R_e}$$

নিঃসারক শাখার প্রবাহের অধিকাংশই সংগ্রাহক শাখায় মধ্য দিয়া যায় বলিয়া  $I_c$  এবং  $I_e$  প্রায় সমান। কাজেই, উক্ত দুই শাখার শক্তির হারের অনুপাত  $A$ -এর মান প্রায়  $\frac{R_c}{R_e}$ -এর সমান। সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, ট্রানজিস্টর-বর্তনী ক্ষমতা বিবর্ধক-এর ন্যায় ক্রিয়া করে।



## 7.4 অর্ধপরিবাহী ডায়োড ও ট্রানজিস্টরের সুবিধা

ধার্মানিক ভাল্ভের তুলনায় অর্ধপরিবাহী ডায়োড ও ট্রানজিস্টর ব্যবহার অনেক সুবিধাজনক। ধার্মানিক ভাল্ভের তুলনায় ইহারা আকারে অনেক ক্ষুদ্র এবং অপেক্ষাকৃত হালকা। ধার্মানিক ভাল্ভে তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য ফিলামেন্টের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাইতে হয়, কিন্তু অর্ধপরিবাহী ডায়োড ও ট্রানজিস্টরে এইরূপ হিটার-বর্তনীর প্রয়োজন হয় না। ফলে ইহারা অল্প শক্তিতেও ক্রিয়া করিতে পারে। ধার্মানিক ভাল্ভের ন্যায় অর্ধপরিবাহী ডায়োড এবং ট্রানজিস্টর ভঙ্গুর নয়। এই সকল সুবিধার জন্য বর্তমানে অর্ধপরিবাহী ডায়োড এবং ট্রানজিস্টর ধার্মানিক ভাল্ভকে কার্খত<sup>১</sup> প্রতিস্থাপিত করিয়া দিয়াছে। রেডিও, টেলিভিশন, কম্পিউটার ইত্যাদি নানা যন্ত্রে বর্তমানে ব্যাপকভাবে অর্ধপরিবাহী ডায়োড ও ট্রানজিস্টর ব্যবহৃত হইতেছে।

### সার-সংক্ষেপ

তড়িৎ-পরিবাহিতার বিচারে পদার্থকে সাধারণত পরিবাহী এবং অপরিবাহী এই দুইটি প্রধান ভাগে ভাগ করা হয়। এই দুই ধরনের পদার্থ ছাড়াও অর্ধপরিবাহী বা সেমিকন্ডাক্টর নামে আর এক জাতীয় পদার্থ আছে। পরমশূন্য উষ্ণতায় ইহাদের তড়িৎ-পরিবাহিতা শূন্য, কিন্তু উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত ইহাদের পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়। অর্ধপরিবাহী দুই প্রকার—(i) স্বভাবী অর্ধপরিবাহী এবং (ii) অস্বভাবী বা অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী।

যে অর্ধপরিবাহীকে উত্তপ্ত করিলে উহাদের যোজ্যতা-ইলেকট্রনগুলি গতিশক্তি লাভ করিয়া পরিবহণ স্তরে উন্নীত হয় উহাদিগকে স্বভাবী অর্ধপরিবাহী বলা হয়।

উপযুক্ত অপদ্রব্য ব্যবহার করিয়া যে-সকল অর্ধপরিবাহী পরিবহণ ক্ষমতা লাভ করে উহাদিগকে অস্বভাবী বা অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী বলা হয়। অস্বভাবী অর্ধপরিবাহী দুই প্রকার (i)  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী এবং (ii)  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী।  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীর সংখ্যাগুরু বাহক (majority carrier) হইল ইলেকট্রন এবং  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীর সংখ্যাগুরু বাহক হইল গহ্বর (hole)।

একটি  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী এবং একটি  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী পরস্পরের সংস্পর্শ স্থাপন করিয়া অর্ধপরিবাহী ডায়োড নির্মিত হয়। অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টর দুই প্রকার—(i)  $n-p-n$  জাতীয় এবং (ii)  $p-n-p$  জাতীয়।

অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে পলিবর্তী প্রবাহকে একমুখী করা যায়। ট্রানজিস্টরের সাহায্যে বিভব-বিবর্ধন করা হয়। বর্তমানে বিভিন্ন ইলেকট্রনিক যন্ত্রে অর্ধপরিবাহী ডায়োড এবং ট্রানজিস্টর ব্যবহৃত হইতেছে।

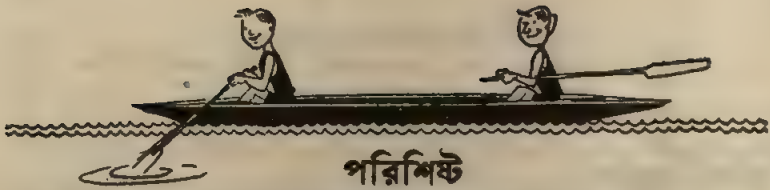
প্রশ্নাবলী ৪

ব্রহ্মোত্তর প্রশ্নাবলী

1. জার্মেনিয়ামের সহিত সামান্য আর্সেনিক মিশ্রিত করিয়া  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।
2. জার্মেনিয়ামের সহিত সামান্য গ্যালিয়াম মিশাইয়া  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়। ব্যাখ্যা কর।

নিবন্ধধর্মী প্রশ্নাবলী

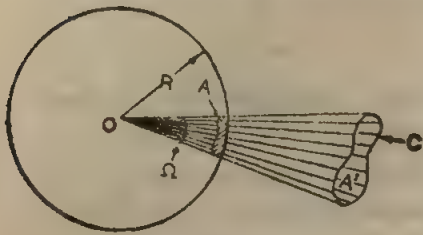
3. অর্ধপরিবাহী বা সেমিকন্ডাক্টর কাকে বলে? তড়িৎ-বোজী যোগ এবং সমবোজী যোগের পার্থক্য কী? উদাহরণের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।
4. একটি জার্মেনিয়াম পরমাণুতে কতগুলি ইলেকট্রন থাকে? ইহার কোন্ অক্ষে কয়টি ইলেকট্রন থাকে? জার্মেনিয়াম পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস দেখাইয়া একটি চিত্র অঙ্কন কর। জার্মেনিয়ামে সামান্য পরিমাণ আর্সেনিক অপদ্রব্য থাকিলে উহা  $n$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীতে পরিণত হয় কীভাবে?
5. স্বভাবী অর্ধপরিবাহী এবং অস্বভাবী বা অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী বলিতে কী বুঝ?  $n$ -জাতীয় এবং  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীর পার্থক্য বুঝাইয়া বল।
6. কোন অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সংখ্যাগুরু বাহক এবং সংখ্যালঘু বাহক বলিতে কী বুঝ?  $p$ -জাতীয় অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে সংখ্যাগুরু বাহক কী?
7. অর্ধপরিবাহী ডায়োডের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। থার্মায়নিক ডায়োড অপেক্ষা অর্ধপরিবাহী ডায়োডের ব্যবহারের সুবিধা কী?
8. ট্রানজিস্টর কাকে বলে? ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। ইহার ব্যবহার কি? থার্মায়নিক ডায়োডের তুলনায় ট্রানজিস্টরের ব্যবহার কী কী কারণে সুবিধাজনক?



## পরিশিষ্ট (ক)

**ঘনকোণ (Solid angle):** দুইটি সরলরেখার অন্তর্গত স্থানের দ্বারা যেমন সমতলীয় কোণ মাপা হয় তেমনি একটি শঙ্কুর দ্বারা আবদ্ধ স্থানের সাহায্যে ত্রিমাত্রিক দেশে (three-dimensional space) ঘনকোণের পরিমাণ করা হয়।

মনে করি,  $D$  বন্ধ রেখার দ্বারা সীমাবদ্ধ ক্ষেত্রফল  $A'$  [চিত্র (i)]। এই ক্ষেত্রটি  $O$



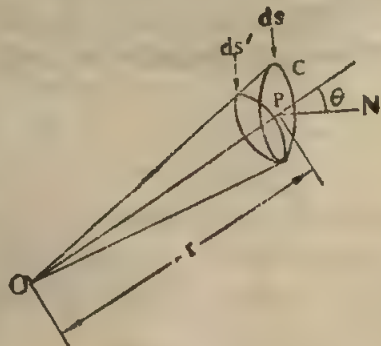
চিত্র (i)

বিন্দুতে কত ঘনকোণ উৎপন্ন করে তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। ক্ষেত্রটির সীমারেখা  $C$ -এর প্রতিটি বিন্দু হইতে  $O$ -বিন্দু পর্যন্ত সরলরেখা টানিলে আমরা একটি শঙ্কু পাইব।  $O$  ঐ শঙ্কুর শীর্ষবিন্দু।  $O$ -বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া যে-কোন ব্যাসার্ধ লইয়া একটি গোলক অঙ্কন করা হইল। গোলকের পৃষ্ঠের যে-অংশ ঐ শঙ্কুর দ্বারা সীমাবদ্ধ তাহার ক্ষেত্রফলকে গোলকের

ব্যাসার্ধের বর্গের দ্বারা ভাগ করিলে  $O$ -বিন্দুতে  $A'$  ক্ষেত্রটির দ্বারা উৎপন্ন ঘনকোণের মান পাওয়া যাইবে। মনে করি, গোলকের ব্যাসার্ধ  $R$  এবং শঙ্কুটির দ্বারা সীমাবদ্ধ গোলক-পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল  $A$  [চিত্র (i)]। সুতরাং সংজ্ঞানুসারে,  $\Omega = \frac{A}{R^2}$  ... (i)

ক্ষেত্রফল  $A$  গোলকের ব্যাসার্ধ  $R$ -এর বর্গের সমানুপাতিক বলিয়া ঘনকোণ  $\Omega$  ব্যাসার্ধ  $R$ -এর উপর নির্ভর করিবে না।

মনে করি,  $C$  একটি অতিক্রম তল। তলটি অতিশয় ক্ষুদ্র বলিয়া উহাকে সম-তলীয় ক্ষেত্র বলিয়া ধরা যায়। মনে করি, উহার উপর অঙ্কিত অভিলম্ব  $PN$  এবং বিন্দু  $OP$ -রেখা পরস্পরের সহিত  $\theta$  কোণ করে। ধরি,  $C$  তলের ক্ষেত্রফল  $ds$ ।  $O$ -বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া  $r$  ব্যাসার্ধ লইয়া একটি গোলক অঙ্কিত হইল [(ii) চিত্রে ঐ গোলকপৃষ্ঠের একটি অংশ দেখান হইয়াছে মাত্র]।  $O$ -বিন্দুতে  $ds$  সীমারেখা দ্বারা উৎপন্ন শঙ্কু ঐ গোলকপৃষ্ঠের  $ds'$  ক্ষেত্রফল আবদ্ধ করিয়াছে। সংজ্ঞানুসারে,  $ds$  ক্ষেত্রফল দ্বারা  $O$ -বিন্দুতে উৎপন্ন ঘনকোণ



চিত্র (ii)

$$d\omega = \frac{ds'}{r^2} = \frac{ds \cos \theta}{r^2} (ds' = ds \cos \theta \text{ বলিয়া})$$

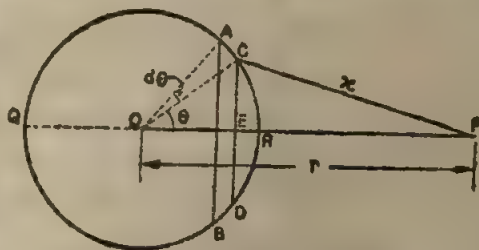
পরিশিষ্ট (অ)

সমভাবে আহিত গোলকের উপস্থিতির দরুন কোন বিন্দুর তড়িৎ-বিভব

মনে করি, একটি আহিত গোলকের মোট আধানের পরিমাণ  $Q$  ; ইহার ব্যাসার্ধ  $a$  হইলে গোলকের উপর আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (surface density of charge)

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi a^2} \quad \dots (i)$$

(i) বাহ্যিক বিন্দুতে তড়িৎ-বিভব :  $P$  একটি বাহ্যিক বিন্দু। আহিত গোলকের স্থিতির দরুন  $P$ -বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের মান কত তাহা নির্ণয় করিতে হইবে।  $OP$  বোঝ করা হইল।  $OP$  রেখা গোলকপৃষ্ঠকে  $R$ -বিন্দুতে ছেদ করিল।



চিত্র 1

$RO$ -কে বর্ণিত করা হইল। ইহা গোলকপৃষ্ঠতে  $Q$  বিন্দুতে ছেদ করিল।  $OP$ -রেখার সহিত লমভাবে অবস্থিত দুইটি সমতল  $AB$  এবং  $CED$  দ্বারা গোলকটিকে ছেদ করা হইল। এই দুই সমতল গোলকের পৃষ্ঠ হইতে যে-আংটাটি কাটিয়া লয় তাহার ক্ষেত্রফল

$$ds = 2\pi CE.AC$$

কিন্তু,  $CE = a \sin \theta$  এবং  $AC = a d\theta$

এই আংটার জন্য  $P$ -বিন্দুর তড়িৎ-বিভব

$$\begin{aligned} d\phi &= \frac{\sigma ds}{x} = \frac{\sigma 2\pi (a \sin \theta)(a d\theta)}{x} \\ &= \frac{2\pi \sigma a^2}{x} \sin \theta d\theta \quad \dots (ii) \end{aligned}$$

কিন্তু,  $x^2 = a^2 + r^2 - 2ar \cos \theta$

এখানে  $x$  এবং  $\theta$  চলরাশি। অন্তরকলন (differentiation) করিয়া পাই,

$$2x dx = 2ar \sin \theta d\theta$$

$$\text{বা, } \sin \theta d\theta = \frac{x dx}{ar} \quad \dots (iii)$$

কাজেই, সমীকরণ (ii) ও (iii) হইতে পাই,  $d\phi = \frac{2\pi \sigma a^2}{x} \cdot \frac{x dx}{ar}$

$$= \frac{2\pi \sigma a}{r} dx$$



∴ সমগ্র গোলকের দ্বারা P বিন্দুতে তড়িৎ-বিভব,

$$\begin{aligned}
 x &= QP & r+a \\
 \phi &= \int \frac{2\pi\sigma a}{r} dx = \frac{2\pi\sigma a}{r} \int dx \\
 x &= RP & r-a \\
 &= \frac{2\pi\sigma a}{r} [(r+a) - (r-a)] \\
 &= \frac{4\pi a^2 \sigma}{r}
 \end{aligned}$$

কিন্তু,  $4\pi a^2 \sigma = Q$  [ সমীকরণ (i) হইতে ]

$$\therefore \phi = \frac{Q}{a} = \frac{\text{মোট আধান}}{\text{গোলকের কেন্দ্র হইতে P বিন্দুর দূরত্ব}}$$

সুতরাং, আহিত গোলকের উপস্থিতির দ্বারা কোন বিন্দুতে তড়িৎ-বিভব নির্ণয় করিবার জন্য গোলকের সম্পূর্ণ আধানই উহার কেন্দ্রবিন্দুতে রাখিয়াছে এইরূপ ধরিয়া লওয়া যায়।

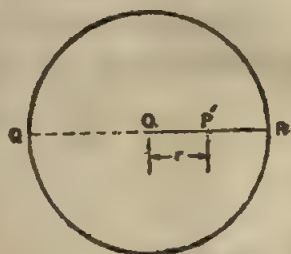
(ii) আভ্যন্তরীণ বিন্দু P-এ তড়িৎ-বিভব : মনে করি, P' একটি আভ্যন্তরীণ বিন্দু। এক্ষেত্রে  $OP' = r$

একইভাবে, একটি ক্ষুদ্র আংশের জন্য P-বিন্দুতে বিভব,

$$d\phi = \frac{2\pi\sigma a}{r} \cdot dx$$

এক্ষেত্রে, সমাকলনের সীমা হইল  $x = RP'$  হইতে  $x = QP'$ ; কাজেই, সমগ্র গোলকের জন্য P' বিন্দুতে তড়িৎ-বিভব,

$$\begin{aligned}
 x &= RP' & a+r \\
 \phi &= \int \frac{2\pi\sigma a}{r} dx = \frac{2\pi\sigma a^2}{r} \int dx \\
 x &= QP' & a-r \\
 &= 4\pi a\sigma = \frac{4\pi a\sigma^2}{a} = \frac{Q}{a} \\
 &= \frac{\text{তড়িদাধান}}{\text{ব্যাসার্ধ}}
 \end{aligned}$$



চিত্র 2

লক্ষণীয় যে, আভ্যন্তরীণ কোন বিন্দুর বিভব সর্বদা সমান। কেননা, ইহা কেবলমাত্র গোলকের ব্যাসার্ধের উপর নির্ভর করে, গোলকের কেন্দ্র হইতে আলোচ্য বিন্দুর দূরত্ব r-এর উপর নির্ভর করে না।

## LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	123	456	789
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	59 13	17 21 26	30 34 38
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	48 12	16 20 24	28 32 36
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	47 11	15 18 22	26 29 33
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	37 11	14 18 21	25 28 32
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	37 10	14 17 20	24 27 31
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	36 10	13 16 19	23 26 29
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	36 9	12 15 19	22 25 28
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	37 10	13 16 19	22 25 29
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	36 8	11 14 17	22 25 28
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	36 8	11 14 17	22 25 29
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	36 8	11 14 16	19 22 24
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	35 8	10 13 16	18 21 23
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	35 8	10 13 15	18 20 23
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	35 8	10 12 15	17 20 22
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	25 7	9 12 14	17 19 21
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	24 7	9 11 14	16 18 21
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	24 6	8 11 13	15 17 19
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	24 6	8 10 12	14 16 18
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	24 6	8 10 12	14 15 17
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	24 5	7 9 11	12 14 16
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	23 5	7 9 10	12 14 15
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	23 5	7 8 10	11 13 15
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	23 5	6 8 9	11 13 14
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	23 5	6 8 9	11 12 14
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	13 4	6 7 9	10 12 13
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	13 4	6 7 9	10 11 13
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	13 4	6 7 8	10 11 12
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	13 4	5 7 8	9 11 12
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	13 4	5 6 8	9 10 12
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	13 4	5 6 8	9 10 11
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	12 4	5 6 7	9 10 11
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	12 4	5 6 7	8 10 11
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	12 3	5 6 7	8 9 10
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	12 3	5 6 7	8 9 10
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	12 3	4 5 6	7 8 9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	12 3	4 5 6	7 8 9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	12 3	4 5 6	7 7 8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	12 3	4 5 5	6 7 8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	12 3	4 4 5	6 7 8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	12 3	4 4 5	6 7 8

## LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	123	456	789
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	123	345	678
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	123	345	678
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	122	345	677
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	122	345	667
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	122	345	667
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	122	345	567
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	122	345	567
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	122	345	567
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	112	344	567
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	112	344	567
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	112	344	566
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	112	344	566
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	112	334	566
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	112	334	556
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	112	334	556
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	112	334	556
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	112	334	556
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	112	334	556
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	112	334	456
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	112	334	456
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	112	234	456
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	112	234	455
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	112	234	455
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	112	234	455
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	112	234	455
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	112	233	455
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	112	233	455
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	112	233	445
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	112	233	445
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	112	233	445
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	112	233	445
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	112	233	445
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	112	233	445
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	112	233	445
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	112	233	445
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	112	233	445
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	112	233	445
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	011	223	344
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	011	223	344
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	011	223	344
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	011	223	344
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	011	223	344
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	011	223	344
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	011	223	344
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	011	223	344
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	011	223	344
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	011	223	344
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	011	223	344
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	011	223	344
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	011	223	334

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	123	456	789
00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	001	111	222
01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	001	111	222
02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	001	111	222
03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	001	111	222
04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	011	112	222
05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	011	112	222
06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	011	112	222
07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	011	112	222
08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	011	112	223
09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	011	112	223
10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	011	112	223
11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	011	122	223
12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	011	122	223
13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	011	122	233
14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	011	122	233
15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	011	122	233
16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	011	122	233
17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	011	122	233
18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	011	122	233
19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	011	122	333
20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	011	122	333
21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	011	222	333
22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	011	222	333
23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	011	222	334
24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	011	222	334
25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	011	222	334
26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	011	223	334
27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	011	223	334
28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	011	223	344
29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	011	223	344
30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	011	223	344
31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	011	223	344
32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	011	223	344
33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	011	223	344
34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	112	233	445
35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	112	233	445
36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	112	233	445
37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	112	233	445
38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	112	233	445
39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	112	233	455
40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	112	234	455
41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	112	234	455
42	2630	2636	2642	2648	2655	2661	2667	2673	2679	2685	112	234	456
43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	112	334	456
44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	112	334	456
45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	112	334	556
46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	112	334	556
47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	112	334	556
48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	112	344	566
49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	112	344	566



## ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	123	4 5 6	7 8 9
-50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	112	3 4 4	5 6 7
-51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	122	3 4 5	5 6 7
-52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	122	3 4 5	5 6 7
-53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	122	3 4 5	6 6 7
-54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	122	3 4 5	6 6 7
-55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	122	3 4 5	6 7 7
-56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	123	3 4 5	6 7 8
-57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	123	3 4 5	6 7 8
-58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	123	4 4 5	6 7 8
-59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	123	4 5 5	6 7 8
-60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	123	4 5 6	6 7 8
-61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	123	4 5 6	7 8 9
-62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	123	4 5 6	7 8 9
-63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	123	4 5 6	7 8 9
-64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	123	4 5 6	7 8 9
-65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	123	4 5 6	7 8 9
-66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	123	4 5 6	7 9 10
-67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	123	4 5 7	8 9 10
-68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	123	4 6 7	8 9 10
-69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	123	5 6 7	8 9 10
-70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	124	5 6 7	8 9 11
-71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	124	5 6 7	8 10 11
-72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	124	5 6 7	9 10 11
-73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	134	5 6 8	9 10 11
-74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	134	5 6 8	9 10 12
-75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	134	5 7 8	9 10 12
-76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	134	5 7 8	9 11 12
-77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	134	5 7 8	10 11 12
-78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	134	6 7 8	10 11 13
-79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	134	6 7 9	10 11 13
-80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	134	6 7 9	10 12 13
-81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	235	6 8 9	11 12 14
-82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	235	6 8 9	11 12 14
-83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	235	6 8 9	11 13 14
-84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	235	6 8 10	11 13 15
-85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	235	7 8 10	12 13 15
-86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	235	7 8 10	12 13 15
-87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	235	7 9 10	12 14 16
-88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	245	7 9 11	12 14 16
-89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	245	7 9 11	13 14 16
-90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	246	7 9 11	13 15 17
-91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	246	8 9 11	13 15 17
-92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	246	8 10 12	14 15 17
-93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	246	8 10 12	14 16 18
-94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	246	8 10 12	14 16 18
-95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	246	8 10 12	15 17 19
-96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	246	3 11 13	15 17 19
-97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	247	9 11 13	15 17 20
-98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	247	9 11 13	16 18 20
-99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	257	9 11 14	16 18 20

## উচ্চ মাধ্যমিক পদার্থবিজ্ঞান প্রশ্নপত্র

পশ্চিমবঙ্গ উচ্চ মাধ্যমিক, ১৯৮৬

‘ক’ বিভাগ

যে-কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও।

১। (ক) বলয়গ্রাস সূর্যগ্রহণ চিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

(খ) প্রমাণ কর যে, সমতল দর্পণ যে কোণে আবর্তিত হয়, প্রতিফলিত রশ্মি উহার দ্বিগুণ কোণে আবর্তিত হয়।

(গ) কীভাবে সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় দেখাও এবং প্রমাণ কর যে, প্রতিবিম্ব দূরত্ব বহুদূরত্বের সমান।

(ঘ) অলীক ও বাস্তব বিম্ব বলিতে কী বোঝায় উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা কর।

২। (ক) আলোকের অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ও সঙ্কট কোণ কাহাকে বলে? উহাদের সম্পর্কটি নির্ণয় কর।

(খ) কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 এবং শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ  $3 \times 10^{10}$  cm/sec হইলে কাচ মাধ্যমে আলোর গতিবেগ নির্ণয় কর।

(গ) প্রমাণ কর যে, উত্তল লেন্সের সাহায্যে সদ্বিম্ব পাইতে হইলে বস্তু ও পর্দার মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব লেন্সের ফোকাস দূরত্বের চারগুণ হওয়া চাই।

(ঘ) একটি লেন্সের ক্ষমতা +4D; ইহার ফোকাস দূরত্ব কত? ইহা কি ধরনের লেন্স?

৩। (ক) অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে বস্তু দূরত্ব, প্রতিবিম্ব দূরত্ব ও ফোকাস দূরত্বের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(খ) (১) দাড়ি কামানোর সময় এবং (২) মোটর গাড়ির চালকের পাশে কীদূপ গোলায় দর্পণ ব্যবহার করা হয় ও কেন?

(গ) গোলায় দর্পণের সাহায্যে একটি মোমবাতির শিখার চারগুণ বিবর্তিত প্রতিবিম্ব শিখা হইতে 9 cm দূরে পর্দায় সৃষ্টি হইল। দর্পণের প্রকৃতি, অবস্থান ও ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় কর।

৪। (ক) লেন্সচিত্রের সাহায্যে প্রিজমের ন্যূনতম চ্যুতিকোণের ব্যাখ্যা কর।

(খ) পূর্ণপ্রতিফলন প্রিজমের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

(গ) নিঃসরণ ও শোষণ বর্ণালীর সংজ্ঞা দাও। সৌর-বর্ণালীতে কীভাবে ফ্রাঙ্কফার রেখার উৎপত্তি ঘটে?

(ঘ) মানবচক্ষুর হৃদয়দৃষ্টি বলিতে কী বোঝ?

‘খ’ বিভাগ

৫। (ক) কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সংজ্ঞা দাও।

(খ) চৌম্বক বলরেখা কাহাকে বলে ও উহাদের বৈশিষ্ট্য কী?

(গ) উদাসীন বিদ্যুৎ সংজ্ঞা দাও। একটি দণ্ডচুম্বকের উত্তর মেরু উত্তর দিকে থাকিলে, উদাসীন বিদ্যুৎ ঐ চুম্বকের লম্ব দিকগুলোর উপর অবস্থিত হয়, অন্যত্র হয় না - কেন?

(ঘ) দুইটি চুম্বকমেরুর মধ্যের দূরত্ব 10 cm ; একটির মেরুশক্তি অপরাটির পাঁচগুণ । বায়ুতে উহাদের মধ্যে কার্ষকর বলের মান 80 ডাইন । মেরুঘনত্বের মেরুশক্তির মান নির্ণয় কর ।

অথবা, ৫। (ক) চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব সংক্ষেপে বিবৃত কর ।

(খ) কলিকাতায় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য  $0.35$  ওয়েস্টেড এবং বিনতি কোণ  $30^\circ N$  ; কলিকাতায় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর ।

(গ) কুরী বিন্দু বলিতে কী বোঝ ?

(ঘ) স্থায়ী চুম্বক প্রস্তুত করার জন্য ইস্পাত না লোহা—কী পছন্দ করিবে ও কেন ?

৬। (ক) বহু-নিবারকের কার্ষনীতি কী ?

(খ) আবেশের সাহায্যে কীভাবে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে ধনাত্মক আধানে আহিত করিবে, চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর ।

(গ) একটি 20 e. s. u. ধনাত্মক আধান হইতে 30 সেমি দূরে অপর একটি 30 ই. এস. ইউ. ঋণাত্মক আধান অবস্থিত । উভয় আধানের সংযোগকারী সরলরেখার উপর উভয় আধানের মধ্যে প্রথম আধান হইতে 10 cm দূরে অবস্থিত বিন্দুতে বিভব কত হইবে ? কোন্ বিন্দুতে বিভব শূন্য হইবে ?

(ঘ) ইলেকট্রন ভোল্ট বলিতে কী বোঝ ?

অথবা, ৬। একটি ভ্যানডে গ্রাফ যন্ত্রের বর্ণনা দাও ও উহার কার্ষপ্রণালী ব্যাখ্যা কর ।

### ‘গ’ বিভাগ

যে-কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও ।

৭। (ক) তড়িৎ বিশ্লেষণ সংক্রান্ত ফারাডের সূত্রগুলি বিবৃত কর ও ব্যাখ্যা কর ।

(খ) সরল ভোল্টীয় কোষের দুটিগুলি কী কী ? যে-কোন একটি দুটি নিবারকের উপায় বিবৃত কর ।

(গ)  $300 \text{ cm}^3$  ক্ষেত্রফলের একটি খাতব প্লেটকে নিকেলের প্রলেপ দিতে হইবে ।  $1.5$  অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ 3 ঘণ্টা ব্যবহার করিলে প্লেটে নিকেল প্রলেপের বেধ কত হইবে ? নিকেলের ঘনত্ব  $= 8.8 \text{ gm/cm}^3$  ; নিকেলের E.C.E.  $= 0.000304$  গ্রাম/কুলম্ব ।

৮। (ক) ABC একটি তারের ত্রিভুজ । AB, BC ও CA বাহুর রোধ যথাক্রমে 40, 60, ও 100 ওহ্ম । A ও B বিন্দুর মধ্যে তুল্যাক্ষ রোধ কত ?

(খ) হুইটস্টোন ব্রিজ পদ্ধতির সাহায্যে কীভাবে অজানা রোধ নির্ণয় করা যায়, চিত্র সহযোগে বুঝাইয়া দাও ।

(গ) একটি চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের রোধ 10 ওহ্ম । উহার মধ্য দিয়া সর্বোচ্চ 1 মিলিঅ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যাইতে পারে । ইহাকে 10 অ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত প্রবাহ পরিমাপের উপযোগী অ্যামিটারে পরিণত করিতে হইলে কীভাবে তাহা করিবে ?

৯। (ক) তড়িৎচুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত ফারাডের সূত্রগুলি বিবৃত কর ও ব্যাখ্যা কর ।

(খ) আবেশহীন কুণ্ডলী বলিতে কী বোঝ ?

(গ) জীবক ক্রিয়া কী ? চিত্রসহযোগে নিরপেক্ষ উচ্চতা ব্যাখ্যা কর।

১০। সাক্ষিপ্ত টীকা লিখ : (ক) পরিবর্তী প্রবাহ ; (খ) ডি. সি. মোটর

### ‘ঘ’ বিভাগ

১১। (ক) আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া কী ?

(খ) আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া সম্পর্কে আইনস্টাইনের সমীকরণ ব্যাখ্যা কর।

(গ)  $7.5 \times 10^{14}$  হার্জ কম্পাঙ্কের বিকিরণ কোন ধাতুপৃষ্ঠে আপতিত হইলে সর্বোচ্চ  $1.6 \times 10^{-19}$  জুল শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। ঐ ধাতুপৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য সর্বনিম্ন কত কম্পাঙ্কের বিকিরণ প্রয়োজন হয় ?  $h = 6.62 \times 10^{-27}$  আর্গ-সেকেন্ড।

১২। (ক) একটি এক্স-রশ্মি উৎপাদক যন্ত্রের বর্ণনা দাও ও উহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

(খ) এক্স-রশ্মি ও ক্যাথোড-রশ্মির মধ্যে পার্থক্য কী ?

(গ) পরমাণু গঠন সম্পর্কিত নীলস্ বোরের কল্পিত স্বীকৃতিগুলি লিখ।

১৩। (ক) N-শ্রেণী ও P-শ্রেণীর অর্থ পরিবাহী কাহাকে বলে ?

(খ) P-N সংযোগ কীভাবে একমুখীকারক হিসাবে কাজ করে ব্যাখ্যা কর।

(গ) বিটা রশ্মির প্রকৃতি কীরূপ ?

১৪। সাক্ষিপ্ত টীকা লিখ (যে-কোন দুইটি) :

(ক) কেন্দ্রক বিভাজন ; (খ) তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ও ব্যবহার ; (গ) বেতার সম্প্রচারের মূলনীতি , (ঙ) কেন্দ্রক-সংযোজন।

### ত্রিপুরা উচ্চ মাধ্যমিক, ১৯৮৬

#### বিভাগ—ক (যে-কোন তিনটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

১। (ক) কোন গোলায় দর্পণের ক্ষেত্রে উহার বক্রতা-ব্যাসার্ধ ও ফোকাস দূরত্বের সমজ্যা দাও এবং উহাদের মধ্যে সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর।

(খ) দুইটি সমতল দর্পণ  $\alpha$  কোণে আনত আছে। একটি আলোক-রশ্মি দ্বিতীয় দর্পণের সমান্তরাল ভাবে আসিয়া প্রথম দর্পণে আপতিত হইল। পরপর দুইবার প্রতিফলনের পর শেষ প্রতিফলিত রশ্মিটি প্রথম দর্পণের সমান্তরাল হয়।  $\alpha$  কোণের মান নির্ণয় কর।

২। (ক) কোন প্রিজমের ক্ষেত্রে উহার মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক, প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কোণ ও ন্যূনতম চ্যুতি কোণের সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর।

(খ) খুব পাতলা একটি প্রিজম আলোক-রশ্মির  $5^\circ$  বিচ্যুতি ঘটায়। প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 হইলে প্রিজমের কোণ কত ?

(গ) দেখাও যে, কোন প্রিজমের কোণ উহার উপাদানের সংকট কোণের দ্বিগুণ হইলে ঐ প্রিজমের কোন বহির্গমন রশ্মি থাকিবে না।



৩। (ক) কোন লেন্সের প্রধান ফোকাস বলিতে কী বুঝায় ?

(খ) একটি উত্তল লেন্সের দ্বারা কী ভাবে (i) একটি অসদৃশ্য ও (ii) একটি বিবর্ষিত সদৃশ্য গঠিত হয়, তাহা পরিচ্ছন্ন চিত্র সহযোগে বুঝাইয়া দাও।

(গ) একটি বস্তু ও একটি পর্দার মধ্যে একটি উত্তল লেন্স বসানো আছে। লেন্সের দুইটি অবস্থানের জন্য পর্দার উপর বস্তুটির সদৃশ্য গঠিত হয়। সদৃশ্য দুইটির দৈর্ঘ্য  $I_1$  ও  $I$  এবং বস্তুটির দৈর্ঘ্য  $O$  হইলে প্রমাণ কর যে,

$$O = \sqrt{I_1 I}$$

৪। (ক) মানব চক্ষুর বিভিন্ন দোষগুলি কী কী এবং কীরূপে দোষগুলির প্রতিকার করা যায় চিত্রসহ বুঝাইয়া দাও।

(খ) মানুষের চোখের উপযোগজন বলিতে কী বুঝ ?

(গ) দুইটি চোখ থাকার সুবিধা কী তাহা বুঝাইয়া দাও।

৫। (ক) চিত্রের সাহায্যে সূর্যগ্রহণ কীভাবে হয়, তাহা ব্যাখ্যা কর। প্রতি পূর্ণিমা বা অমাবস্যাগ্রহণ হয় না কেন ?

(খ) একটি দর্পণ সমতল, অবতল বা উত্তল,—কোন প্রকৃতির তাহা কীরূপে স্থির করিবে ?

(গ) নিম্নসূত বর্ণালী কয় প্রকারের হয় এবং সেইগুলি কী কী ?

বিভাগ—খ (যে-কোন একটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

৬। (ক) চৌম্বক ক্ষেত্রে উদাসীন বিন্দু কাকে বলে ?

(খ) চৌম্বক ভেদ্যতা ও চৌম্বক প্রবণতা বলিতে কী বুঝায় লিখ।

(গ) দুইটি চৌম্বক মেবুর মধ্যে ত্রিযাশীল বল সংক্ষেপে কতগুলি সূত্র লিখ।

(ঘ) ভূ-চুম্বকের মূল রাশিগুলি কী—চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

৭। (ক) স্থিরতড়িতাবেশ বলিতে কী বুঝ ?

(খ) “কোন বস্তু তড়িৎগ্রস্ত কি না বুঝিবার জন্য আকর্ষণ অপেক্ষা বিকর্ষণ অধিকতর নির্ভরযোগ্য”—ব্যাখ্যা কর।

(গ) সমান্তরাল সমবায় যুক্ত তিনটি ধারকের তুল্যাংক ধারকস্থ নির্ণয় কর।

(ঘ) কোন পরিবাহীর ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভরশীল ?

বিভাগ—গ (যে-কোন তিনটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

৮। (ক) “ $20^\circ \text{C}$  উষ্ণতায় তামার রোধাংক  $1.7 \times 10^{-4} \text{ ohm-cm}$ ”—উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

(খ) দুইটি রোধক সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত থাকিলে উহাদের তুল্যাংক রোধ নির্ণয় কর।

(গ) ভোল্ট ও অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা দাও।

(ঘ) হুইটস্টোন ব্রিজ পদ্ধতিতে রোধ পরিমাপের কার্যপ্রণালী সংক্ষেপে চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

- ৯। (ক) সগুয়ক তড়িৎকোষ কাহাকে বলে ? ইহার এই নামকরণের কারণ কী ?  
 (খ) যে-কোন ধরনের একটি সগুয়ক কোষের কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।  
 (গ) “একটি সগুয়ক কোষের ধারকত্ব 30 অ্যাম্পিয়ার-ঘন্টা”—এই উক্তির অর্থ কি ?  
 (ঘ) প্রামাণ্য কোষ কাহাকে বলে ?

১০। (ক) একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের গঠন ও কার্যনীতি সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

(খ) লেন্জ-এর সূত্রটি লিখ এবং উদাহরণসহ উহার ব্যাখ্যা দাও।

(গ) পারস্পরিক আবেশ কাহাকে বলে ? পারস্পরিক আবেশাংকের সংজ্ঞা দাও।

১১। (ক) একটি এক্স-রশ্মি নলের মধ্যে এক্স-রশ্মির উৎপাদন প্রণালী বুঝাইয়া দাও। এই যন্ত্রের অসুবিধা কি ? এক্স-রশ্মি কী কী কাজে ব্যবহৃত হয় ?

(খ) আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া সম্পর্কিত আইনস্টাইনের সমীকরণটি লিখ ও ব্যাখ্যা কর।

১২। (ক) অর্ধপরিবাহী পদার্থ বলিতে কী বুঝ ?

(খ) পরিবর্তী প্রবাহের একমুখী কারক হিসাবে অর্ধপরিবাহী ডায়োডের ব্যবহার চিত্রসহ বুঝাইয়া দাও।

(গ) একটি ট্রায়োড ভাল্ভের ধ্রুবক সমূহের সংজ্ঞা দাও।

১৩। (ক) কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলিতে কী বুঝ ? উদাহরণসহ লিখ।

(খ) কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের ভাঙ্গন ধ্রুবক ও অর্ধজীবন কালের সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর।

(গ) নিউক্লিয় চুম্বী কাহাকে বলে ?

(ঘ) নিউক্লিয় সংযোজন প্রক্রিয়ায় কীরূপে শক্তি নির্গত হয় ? বুঝাইয়া দাও।

## অস্ট্রেন্ট এন্ট্রান্স, ১৯৮৬

1. (ক) পৃথিবীর আবর্তন বন্ধ হইয়া গেলে, (খ) পৃথিবীর আবর্তন বেগ বৃদ্ধি পাইলে অভিকর্ষজ দ্রবণ,  $g$ -এর মান কী হইবে?
2. কানায় কানায় জল দ্বারা পূর্ণ একটি পাত্রকে একটি তুলাপাত্রে স্থাপন করা হইল। অপর একটি অনুরূপ পাত্রকে অন্য তুলাপাত্রটিতে স্থাপন করা হইল; এই পাত্রটিও জল দ্বারা কানায় পূর্ণ, তবে উহাতে একখণ্ড কাঠ ভাসিতেছে। ইহাদের মধ্যে কোন পাত্রটি অপেক্ষাকৃত বেশি ভারী?
3. একটি ঝাঁপা লোহার বল ঠিক সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায়  $10^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় জলে ভাসে। যদি জল ও লোহার বলকে  $50^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় তোলা হয় তাহা হইলে কী হইবে?
4. একটি বস্তু হইতে আলোক-রশ্মি আসিয়া একটি অবতল দর্পণে আপতিত হইয়া বস্তুটির সর্বাঙ্গ গঠন করিল। যদি বস্তু ও দর্পণকে জলে ডুবাইয়া দেওয়া হয় তাহা হইলে প্রতিবস্তুটির অবস্থানের কোনরূপ পরিবর্তন হইবে কি?
5. দুইটি বাপা পরিবাহীকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা হইল। ছোটটির বিভব  $50\text{ V}$  এবং বড়টির  $100\text{ V}$ । ইহাদিগকে কীরূপে রাখিয়া পরস্পরকে তারের সাহায্যে যুক্ত করিলে ছোট পরিবাহী হইতে বড় পরিবাহীতে ধনাত্মক তড়িদাধান প্রবাহিত হইবে?
6. একটি খাতব তারের একটি নির্দিষ্ট রোধ আছে। যদি তারটিকে এমনভাবে টানা যায় যাহাতে উহার দৈর্ঘ্য ত্রিগুণিত হয়, তাহা হইলে ইহার রোধের মানের কী হইবে? ধরিয়া লওয়া যায় যে, তারটির আয়তন এবং রোধাঙ্ক অপরিবর্তিত রহিয়াছে।
7. সুইচের সাহায্যে বর্তনী সংহত করিবার 15 মিনিট পর একটি বৈদ্যুতিক কেটলীর তরল ফুটিতে আরম্ভ করে। ইহার তাপক-তারটির দৈর্ঘ্য 6 মিটার। তাপক-তারটির কী পরিবর্তন করিলে ‘সুইচ অফ’ করিবার 10 মিনিট পর কেটলীর তরল ফুটিতে থাকিবে? পারিপার্শ্বিক বায়ুমাণ্ডলে তাপক্ষয় উপেক্ষা কর।
8. স্থির দ্রবণে চলমান কোনও যান হইতে কোনও বালক যদি একটি বলকে উল্লম্বভাবে উর্ধ্বে ছুঁড়িয়া দেয় তবে বলটি কোণায় পড়িবে? যুক্তিসহ উত্তর দাও।
9. থার্মোমিটারের উর্ধ্বস্থিরাঙ্ক ও নিম্নস্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিবার সময় বায়ুর চাপ মাপিবার প্রয়োজনীয়তা কী?
10. গ্যাস ও বাষ্পের পার্থক্য উল্লেখ কর।  $\text{CO}_2$ -এর সঙ্কট তাপমাত্রা  $31.4^\circ\text{C}$ , উহা  $25^\circ\text{C}$ -এ গ্যাস কি না?
11. একটি একক ধনাত্মক তড়িদাধানকে একটি সমবিভববৃত্ত পৃষ্ঠের একবিন্দু হইতে অপর বিন্দুতে নিতে কত কাজ করিতে হইবে? উত্তরের ব্যাখ্যা দাও।
12. একটি কোষের তড়িচ্চালক বল দুটিহীনভাবে মাপিতে পোটেনসিওমিটার ব্যবহার করা হয় কিন্তু ভোল্টমিটার ব্যবহার করা হয় না—কেন?
13. কম্পটন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য  $0.0242\text{ \AA}$ -কে শক্তিতে (ইলেকট্রন ভোল্ট এককে) প্রকাশ কর।
14. আম্লন নিউক্লিয়াসের মধ্যে অবস্থিত দুইটি প্রোটনের মধ্যে কত বিকর্ষক কুলম্ব বল ক্রিয়া করে? প্রোটন-দুটির দূরত্ব  $4.0 \times 10^{-15}$  মিটার।

15. গ্যাসের গতিতত্ত্বের ভিত্তিতে গ্যাসের তাপমাত্রার ব্যাখ্যা দাও।
16. একটি ফাঁপা গোলাকার পিণ্ডাবিশিষ্ট সরল দোলক লওয়া হইল—  
(ক) ফাঁপা পিণ্ডটি সম্পূর্ণভাবে তরল দ্বারা ভর্তি করিলে দোলনকালের কি পরিবর্তন হইবে?  
(খ) ফাঁপা পিণ্ডকে আংশিকভাবে তরল দ্বারা ভর্তি করিলে দোলনকালের কি পরিবর্তন হইবে? তোমার উত্তরের যুক্তি দাও।
17. একটি প্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ  $y = 15 \sin (660\pi t - 0.02\pi x)$  cm হইলে তরঙ্গের কম্পনাঙ্ক এবং বেগ নির্ণয় কর।
18. স্থিতিস্থাপকতা বলিতে কী বুঝ? ইস্পাত এবং হীরার মধ্যে কোন্টি বেশি স্থিতিস্থাপক? যুক্তিসহ উত্তর দাও।
19. 100 gm ওজনের একটি বরফ খণ্ড 1.06 আপেক্ষিক গুরুত্বাবিশিষ্ট তরলে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসমান আছে। বরফের আপেক্ষিক গুরুত্ব 0.9। বরফ সম্পূর্ণভাবে গলিয়া গেলে পান্নে তরল পৃষ্ঠের উচ্চতার পরিবর্তন হইবে কি? যুক্তিসহ উত্তর দাও। [জলের ঘনত্ব 1 gm/cc]
20. উদীয়মান এবং অন্তগামী সূর্যকে লাল দেখায় কেন?
21. কী অবস্থায় লিফ্টের উপর দণ্ডায়মান ব্যক্তি নিজেকে ওজনশূন্য মনে করে?
22. ট্যাক্সোমিটার গ্যালভ্যানোমিটারের সাহায্যে পরীক্ষা করার সময় গ্যালভ্যানোমিটার বিক্ষেপকে  $45^\circ$ -র কাছাকাছি রাখা হয় কেন?
23. মোলের পারমাণবিক ওজন এবং পারমাণবিক সংখ্যার সংজ্ঞা দাও। ইহাদের মধ্যে কোন্টি মোলের রাসায়নিক প্রকৃতি নির্ণয় করে বুঝাইয়া বল।
24. কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ-আয়ুষ্কাল বলিতে কী বুঝায়? কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ-আয়ুষ্কাল 2 দিন হইলে কতদিন পর পদার্থের  $\frac{1}{8}$  অংশ অবশিষ্ট থাকিবে?
25. প্রমাণ কর যে, সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষুদ্রতম রোধ অপেক্ষা সমবায়ের তুল্য রোধে ক্ষুদ্রতর হইবে।
26. 10 kg ওজনের একটি খালি পাত্রের মধ্যে কিছু সময় ধরিয়া  $100^\circ\text{C}$  উষ্ণতার জল-মিশ্রিত স্টীম চালনা করা হইল। ইহাতে পাত্রের উষ্ণতা  $15^\circ\text{C}$  হইতে  $60^\circ\text{C}$  পর্যন্ত বাড়িল এবং দেখা গেল উহার মধ্যে 150 gm জল জমিয়াছে। জলমিশ্রিত স্টীমের মধ্যে শতকরা কত ভাগ জল ছিল? (স্টীমের লীনতাপ 540 cal/gm., পাত্রের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ 0.12)
27. (ক) আলোকরশ্মি প্রতিসরণে  $80^\circ$  প্রতিসরাঙ্ক কোণাবিশিষ্ট একটি কাচের প্রিজমের মধ্য দিয়া যায়, উহার আপতন কোণ এবং বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর।  
[কাচের প্রতিসরাঙ্ক = 1.5;  $\sin 40^\circ = 0.6428$ ;  $\sin 74^\circ 37' = 0.9642$ ]  
(খ) প্রতিসরাঙ্কের সর্বোচ্চ কোন্ মানের জন্য আলোকরশ্মি  $80^\circ$  প্রিজমের মধ্য দিয়া এইরূপভাবে যাইতে পারে? এক্ষেত্রে বিচ্যুতি কোণ কত হইবে?
28. 7.5 gm ভরবিশিষ্ট একটি চুম্বক-শলাকার চৌম্বক ভ্রামক 98 একক। যদি উত্তর গোলাধর্মের চুম্বক-শলাকাটিকে অনুভূমিক রাখিতে হয় তাহা হইলে শলাকাটিকে ভারকেন্দ্র হইতে কত দূরে বিধৃত করিতে হইবে? ভৌমচৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উল্লম্ব উপাংশ = 0.25 oersted.



29. একটি কারখানায় 90 kw হারে বৈদ্যুতিক শক্তি প্রয়োজন। ইহা মোট 2.5Ω রোধ-সম্পন্ন লাইন তারের মধ্য দিয়া কারখানায় প্রেরিত হয়। যদি উৎপন্ন ক্ষমতার শতকরা 10 ভাগ এই সরবরাহ প্রক্রিয়ার বিনষ্ট হয় তাহা হইলে (ক) প্রেরক লাইনের প্রবাহ, (খ) উৎপাদন কেন্দ্রের বিভব-বৈষম্য এবং (গ) লাইন রোধের দ্বারা বিভব-পতন নির্ণয় কর।

30. একটি কাচের প্লেটের দৈর্ঘ্য 0.13 মিটার, প্রস্থ 0.0154 মিটার এবং বেধ  $2 \times 10^{-3}$  মিটার; বাতাসে ওজন  $8.2 \times 10^{-3}$  কিলোগ্রাম। প্লেটটির দৈর্ঘ্যকে সমান্তরাল রাখিয়া উহার নীচের অর্ধাংশকে উল্লম্বভাবে জলে ডোবানো হইল। উহার আপাত-ওজন কত হইবে? জলের গুণক 0.073 নিউটন/মিটার।

31. একটি বস্তুর প্রাথমিক তাপমাত্রা 353K, 5 মিনিট পরে উহা কমিয়া 327K হয় এবং 10 মিনিট পরে উহা 325K হয়। 15 মিনিট পরে উহার তাপমাত্রা কত হইবে? পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রা কত?

32. 5 মাসিকদূর শক্তিসম্পন্ন একটি  $\alpha$ -রশ্মির উৎস তৈয়ারী করিতে কি পরিমাণ  ${}_{84}\text{Po}^{210}$ -এর প্রয়োজন।  ${}_{84}\text{Po}^{210}$ -এর অর্ধায়ু (T) = 138 দিন।

33. (ক) একটি ট্রেন বাঁশ বাজাইতে বাজাইতে একটি প্ল্যাটফর্মের দিকে ঘণ্টায় 90 km বেগে অগ্রসর হইতেছে। বাঁশির কম্পাঙ্ক 600 cycles/sec। শব্দের গতি-বেগ 325 metre/sec হইলে প্ল্যাটফর্মে দণ্ডায়মান ব্যক্তির নিকট বাঁশির আপাত কম্পাঙ্ক কত তাহা নির্ণয় কর।

(খ) এক ব্যক্তি একটি পাহাড়ের দিকে 4 metre/sec বেগে দৌড়াইতে দৌড়াইতে যখন পাহাড় হইতে 2 km দূরে তখন বশুকের আগ্রাস করিল। শব্দের গতিবেগ 330 metre/sec হইলে কোথায় এবং কখন সে প্রতিধ্বনি শুনিলে?

34. (ক) একটি ইম্পাতের স্কেল  $0^\circ\text{C}$  উষ্ণতার সঠিক পাঠ দেয়।  $10^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় একটি তামার দণ্ডকে এই স্কেলে মাপিলে 1.00007 metre দেখায়।  $0^\circ\text{C}$  উষ্ণতায় তামার দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য কি তাহা নির্ণয় কর।

$$\alpha_{\text{steel}} = 19 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}, \alpha_{\text{copper}} = 12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

(খ) একটি ধাতব দণ্ডের দুই প্রান্তকে এমনভাবে আবদ্ধ রাখা হইল যে ইহার কোনও দিকে সম্প্রসারণ হইতে পারে না। দণ্ডের উষ্ণতা  $30^\circ\text{C}$  বৃদ্ধি পাইলে তাপজ-পীড়নের মান নির্ণয় কর।

$$\text{ধাতুর রৈখিক প্রসারণ গুণাঙ্ক} = 12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

$$\text{ধাতুর ইয়ং গুণাঙ্ক} = 20 \times 10^{11} \text{ dyn/cm}^2$$

35. (ক) 8 cm ফোকাস-দূরত্ববিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্স হইতে 12 cm দূরে 5 cm উচ্চতাবিশিষ্ট একটি বস্তুকে রাখা হইল। প্রতিবিম্বের স্থান নির্ণয় কর। প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য কত হইবে?

(খ) ভ্যাকুয়াম টিউব ডায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহের অর্ধ-তরঙ্গ একমুখী-করণ চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

## ত্রিপুরা উচ্চ মাধ্যমিক, ১৯৮৭

বিভাগ 'ক' (যে-কোন তিনটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

১। (ক) সমস্ত মাধ্যম কাহাকে বলে ?

(খ) প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া কাহাকে বলে ? বিস্তৃত আলোক উৎস প্রতিবন্ধক অপেক্ষা বৃহৎ এবং বিস্তৃত আলোক উৎস প্রতিবন্ধক অপেক্ষা ক্ষুদ্র, এই দুই ক্ষেত্রে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া কীভাবে গঠিত হয়, চিত্রসহ বুঝাইয়া দাও।

(গ) চন্দ্রগ্রহণ কীভাবে হয় ?

২। (ক) যদি কোন বস্তু আয়নার অভিমুখে  $x$  সেমি/সেকেন্ড বেগে অগ্রসর হয়, তবে প্রমাণ কর যে উহার প্রতিবিম্ব  $2x$  সেমি/সেকেন্ড বেগে বস্তুটির দিকে অগ্রসর হয়।

(খ) দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পর  $\theta$  কোণে আনত আছে। একটি রশ্মি প্রথম দর্পণে তির্যকভাবে আপতিত ও প্রতিফলিত হইয়া দর্পণ কর্তৃক পুনরায় প্রতিফলিত হয়। এই দুইবার প্রতিফলনের ফলে আপতিত রশ্মি কতটা বাকিয়া যায়, তাহা নির্ণয় কর।

(গ) দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পর  $60^\circ$  কোণে আনত আছে। ঐ কোণের সমাবলম্বিত রেখার উপর একটি বিন্দু প্রভব রাখিলে তিনবার প্রতিফলনের ফলে মোট কয়টি প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে, চিত্রসহযোগে বুঝাইয়া দাও।

৩। (ক) বায়ু সাপেক্ষে জলের এবং কোন তেলের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.33 ও 1.45 হইলে জল সাপেক্ষে ঐ তেলের এবং ঐ তেল সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক কত হইবে ?

(খ) একটি আলোক-রশ্মি 1.62 প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট কাচের পাতের উপর আপতিত হইল। যদি প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত রশ্মি পরস্পর লম্বভাবে থাকে, তবে আপতন কোণের মান নির্ণয় কর। ( $\tan^{-1} 1.62 = 58^\circ 24'$ )

(গ) দেখাও যে কোন মাধ্যম হইতে ঘনতর মাধ্যমে অবস্থিত কোন বস্তুর দিকে তাকাইলে দর্শকের চোখে বস্তুটির আপাত দূরত্ব উহার প্রকৃত দূরত্ব অপেক্ষা কম মনে হইবে।

(ঘ) কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 ও জলের প্রতিসরাঙ্ক 1.3। কাচ হইতে জলে পূর্ণ প্রতিফলনের ক্ষেত্রে সঙ্কট কোণ কত হইবে ?

৪। (ক) উত্তল ও অবতল লেন্সকে যথাক্রমে অভিসারী ও অপসারী লেন্স বলা হয় কেন ? চিত্রসহযোগে উহাদের পার্থক্য উল্লেখ কর।

(খ) উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব পরীক্ষাগারে কীভাবে নির্ণয় করা হয়, বর্ণনা কর।

(গ) লেন্সের ক্ষমতা কি ? একটি লেন্সের ক্ষমতা  $+2D$  হইলে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত ?

(ঘ) একটি উত্তল লেন্সের দ্বারা কীভাবে (i) একটি সদৃশ ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব এবং (ii) একটি অসদৃশ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়, চিত্রসহযোগে বুঝাইয়া দাও।

## ‘খ’ বিভাগ

5. (a) কোন চুম্বকের চৌম্বক-অক্ষ এবং চৌম্বক দৈর্ঘ্যের সংজ্ঞা দাও।

(b) আবেশের দ্বারা চৌম্বকধর্মের সৃষ্টি সংক্ষেপে বর্ণনা কর। “আকর্ষণের আগে আবেশ হয়”—এই উক্তির ব্যাখ্যা কর। চৌম্বকত্বের আণবিক তত্ত্বের ভিত্তিতে চৌম্বক-আবেশ কীভাবে ব্যাখ্যা করিবে?

(c) আত্মবিচুম্বকন এবং চৌম্বক-রক্ষক বলিতে কী বুঝ?

## অথবা

5. (a) দুইটি চুম্বক মেরুর মধ্যে বল সংক্রান্ত কূলের সূত্রগুলি লিখ এবং ইহা হইতে একক মেরুর সংজ্ঞা লিখ। চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনও বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের সংজ্ঞা দাও। 9 ও 16 সি জি.এস. একক মেরুশক্তিবিশিষ্ট দুইটি সম্মেরু 14 cm ব্যবধানে আছে। উহাদের সংযোগকারী সরলরেখার কোন বিন্দুতে চৌম্বকপ্রাবল্য শূন্য হইবে তাহা নির্ণয় কর।

(b) কোন স্থানের চৌম্বক নতি-কোণের সংজ্ঞা লিখ। কলিকাতার নতি-কোণ  $31^\circ N$  বলিতে কী বুঝ?

6. (a) ইলেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে তড়িতের উৎপত্তি আলোচনা কর। এই তত্ত্বের সাহায্যে তড়িদাবেশের ব্যাখ্যা দাও। স্বর্ণপদ তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের ব্যবহারগুলি লিখ। ইহার সাহায্যে ঋণাত্মক তড়িদাহিত কোন বস্তুর তড়িৎ-এর প্রকৃতি কীরূপে জানা যায়?

(b) সহজ পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ কর যে তড়িদাহিত পরিবাহীর তড়িৎ উহার বাহিরের পৃষ্ঠ থাকে।

## অথবা

6. (a) ধারকের ধারকত্বের সংজ্ঞা লিখ। দুইটি ধারক (i) শ্রেণীসমবাস্তে এবং (ii) সমান্তরাল সমবাস্তে যুক্ত হইলে সমবাস্তের তুল্য ধারকত্ব এবং ধারকত্বের ধারকত্বের মধ্যে সম্পর্ক দুইটি নির্ণয় কর।

(b) সমবিভব তল বলিতে কী বুঝ?

(c) একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে?

## ‘গ’ বিভাগ (যে-কোনও দুইটি প্রশ্নের উত্তর লিখ)

7. (a) ওহমের সূত্রটি লিখ এবং পরীক্ষার সাহায্যে ইহার স্বার্থতা প্রমাণ কর। 200  $\Omega$  রোধবিশিষ্ট একটি গ্যালভানোমিটার, 20  $\Omega$  রোধের একটি কন্ডুলী এবং 2 volt তড়িচ্চালক বল ও উপেক্ষণীয় আন্তঃরোধবিশিষ্ট একটি তড়িৎ কোষকে শ্রেণী-সমবাস্তে যুক্ত করা হইল এবং গ্যালভানোমিটারের সহিত 2  $\Omega$  রোধের একটি পরিবাহীকে সমান্তরাল সমবাস্তে যুক্ত করা হইল। গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ মাত্রার মান নির্ণয় কর।

(b) দুইটি ভিন্ন বর্তনীর একটিতে ধাতব পরিবাহীর মধ্য দিয়া এবং অন্যটিতে তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চালু রাখা আছে। ধাতব পরিবাহীর এবং দ্রবণের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিলে বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের উপর কীরূপ প্রভাব হইবে?

৪. (a) তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলসংক্রান্ত জুলের সূত্রগুলি লিখ। বৈদ্যুতিক প্রণালী দ্বারা তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় সংক্ষেপে বর্ণনা কর এবং যে সূত্র ব্যবহার করিবে তাহা প্রতিষ্ঠা কর।

(b) 220V, 69W বৈদ্যুতিক বাতি বলিতে কী বুঝ? বাতিটি 220V সরবরাহ লাইনের সহিত যুক্ত করিয়া জ্বালানো হইল। জ্বলন্ত অবস্থায় বাতির ফিলামেন্টের রোধ নির্ণয় কর।

9. (a) ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম ব্যাখ্যা কর এবং চিত্রসহকারে বাল্‌ব-চক্রের কার্যনীতি ব্যাখ্যা করিতে এই নিয়ম প্রয়োগ কর। কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর এই চক্রের ঘূর্ণনের হার নির্ভর করে তাহার উল্লেখ কর।

(b) সীবেক ক্রিয়া বলিতে কী বুঝ?

10. (a) আবিষ্কৃত তড়িচ্চালক বল এবং আবিষ্কৃত তড়িৎ-প্রবাহ বলিতে কী বুঝ? তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত লেঞ্জের সূত্রটি লিখ এবং ব্যাখ্যা কর। শক্তি সংরক্ষণ সূত্র হইতে লেঞ্জের সূত্রের যথার্থতা প্রমাণ কর। একটি দণ্ডচুম্বকের উত্তর মেরুকে একটি বদ্ধ বর্তনীর দিকে মুখ করিয়া বর্তনীর অভিমুখে লইয়া গেলে বর্তনীতে উৎপাদিত আবিষ্কৃত প্রবাহ কোন্ দিকে প্রবাহিত হইবে?

(b) স্বকীয় আবেশ এবং পারস্পরিক আবেশ বলিতে কী বুঝ?

‘ঘ’ বিভাগ (যে-কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

11. (a) ক্যাথোড রশ্মির উৎপাদন সংক্ষেপে বর্ণনা কর। ইহার প্রধান ধর্মগুলির উল্লেখ কর। (b) তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ বলিতে কী বুঝ? (c) এক ইলেকট্রন-ভোল্ট সমান কত আর্গ?

12. (a) ডায়োড ভোল্টের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহের পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণ চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর। (b) আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ। (c) প্রারম্ভ কন্ডাক্টর কাকে বলে?

13. (a) পরিবাহী ও অপরিবাহীর সহিত অর্ধপরিবাহীর পার্থক্য কী? এই তিন ধরনের পদার্থের দুইটি করিয়া উদাহরণ দাও। একটি p-n জংশন ডায়োডের তড়িৎ-প্রবাহ বিনাম ভোল্টেজের লেখচিত্র আঁকিয়া দেখাও ও ব্যাখ্যা কর।

(b) ট্রায়োড ভোল্টের বিবর্তনাক্ষের সংজ্ঞা দাও।

14. (a) তেজস্ক্রিয়তা কী? কৃত্রিম উপায়ে মৌলের রূপান্তর বলিতে কী বুঝায়? নিউক্লীয় বিভাজন মানবজাতির কল্যাণে কীভাবে ব্যবহার করা হয় তাহা ব্যাখ্যা কর।

(b)  ${}_{4}^{90}\text{Be}^0$ -কে  $\alpha$  কণার দ্বারা আঘাত করিলে নিউট্রন বাহির হয় এবং অন্য একটি মৌল-উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ার সমীকরণটি লিখ।



## পশ্চিমবঙ্গ উচ্চ মাধ্যমিক, ১৯৮৭

‘ক’ বিভাগ (যে-কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর লিখ)

১. (a) সমতল দর্পণে প্রতিফলনের সূত্র দুইটি লিখ। এইরূপ প্রতিফলন দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের যে পার্থক্য পরিবর্তন হয়, তাহা চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

(b) দুইটি সমতল দর্পণ এমনভাবে আনত আছে যে, যে-কোন একটি দর্পণে যে-কোন কোণে আপতিত রশ্মি দর্পণ দুইটি হইতে প্রতিফলিত হইবার পর প্রতিফলিত রশ্মিটি আপতিত রশ্মির সহিত সমান্তরাল হয়। দর্পণ দুইটির মধ্যকার কোণের মান নির্ণয় কর এবং পরিষ্কার রশ্মি চিত্র দাও।

(c) সিনেমার পর্দা সাদা এবং অমসৃণ হয় কেন? পর্দা মসৃণ হইলে কী ক্ষতি হইত?

২. (a) উত্তল দর্পণে প্রতিফলন দ্বারা ব্যাপ্ত-বস্তুর প্রতিবিম্বের গঠন পরিষ্কার চিত্রসহ বুঝাইয়া লিখ। বস্তু দূরত্ব, প্রতিবিম্ব দূরত্ব, এবং দর্পণের ফোকাস দৈর্ঘ্যের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(b) 25 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট কোন অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের সহিত লম্বভাবে একটি বস্তু রাখা হইল এবং দর্পণ হইতে 100 cm সম্মুখে একটি প্রতিবিম্ব গঠিত হইল। বস্তুর অবস্থান এবং প্রতিবিম্বের বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(c) একটি দর্পণ অবতল, উত্তল বা সমতল, কোন প্রকারের তাহা কীরূপে স্থির করিবে?

৩. (a) সমতলে প্রতিসরণের সূত্রগুলি লিখ। প্রতিসরাঙ্ক বলিতে কী বুঝ? প্রিজম দ্বারা আলোকের প্রতিসরণের ক্ষেত্রে  $\mu = \frac{\sin [(A + \delta m)/2]}{\sin [A/2]}$  সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর।  $\mu$ ,  $A$  এবং  $\delta m$  স্বাভাবিকভাবে যাহা বুঝায় তাহাই বুঝাইতেছে এবং ধরিয়া লও যে নিগত রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতি হইলে আপতিত কোণ নিগম কোণের সমান হইবে।

(b) প্রিজমের সাহায্যে আপতিত রশ্মির চ্যুতি কীভাবে  $180^\circ$  করা যায় চিত্রসহ দেখাও।

৪. (a) 20 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের উত্তল লেন্স হইতে 60 cm দূরে একটি বস্তু রাখিলে উহার পিছনে সর্বাঙ্গ গঠিত হয়। প্রতিবিম্বের অবস্থান এবং বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(b) শুদ্ধ এবং অশুদ্ধ বর্ণালী বলিতে কী বুঝ? পর্দায় সাদা আলোর শুদ্ধ বর্ণালী কীভাবে পাওয়া যায় সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

(c) কোন সবুজ বস্তু সাদা আলোর দ্বারা আলোকিত হইলে সবুজ দেখায় কেন? বস্তুটিকে হলুদ আলোর দ্বারা আলোকিত করিলে বস্তুটির রং কী দেখাইবে? ব্যাখ্যাসহ উত্তর দাও।

- ৫। (ক) চিত্রসহ একটি নভোবীক্ষণের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।  
 (খ) শোষিত বর্ণালী কাহাকে বলে? উহা কী কী প্রকারের হয়?  
 (গ) আলোকের বিক্ষেপণ কী? আকাশের রং নীল কেন, তাহা বুঝাইয়া দাও।

বিভাগ 'খ' (যে-কোন একটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

- ৬। (ক) চৌম্বক-দ্রামক কাহাকে বলে ব্যাখ্যা কর।  
 (খ) দণ্ড-চুম্বকের লম্ব-দ্বিখণ্ডকের উপর যে-কোন বিন্দুতে প্রাবল্য নির্ণয় কর।  
 (গ) কোন চুম্বকের দুইটি মেরুর ক্ষমতা যে সমান ও বিপরীতধর্মী, তাহা পরীক্ষার সাহায্যে কীভাবে প্রমাণ করিবে?

৭। (ক) একটি স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা দাও। ইহার সাহায্যে কীভাবে আধানের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি নির্ণয় করিবে, বুঝাইয়া দাও।

- (খ) পরিবাহীর ধারকত্ব কাহাকে বলে? একটি গোলকের ধারকত্ব নির্ণয় কর।

বিভাগ 'গ' (যে-কোন তিনটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

- ৮। (ক) ওহ্মের সূত্র লিখ ও ব্যাখ্যা কর। রোধাক্ষ কাহাকে বলে?  
 (খ) 2, 3 ও 4 ওহ্মের তিনটি রোধক আছে। রোধকগুলিকে কীভাবে সাজাইলে উহাদের মোট তুল্যাক্ষ রোধ  $4\frac{1}{2}$  ওহ্ম হইবে? যুক্তিসহ উত্তর দাও।  
 (গ) সমান দৈর্ঘ্যের দুইটি তারের একটির রোধাক্ষ অপরটির দ্বিগুণ। তার দুইটির রোধ সমান হইতে হইলে উহাদের ব্যাসার্ধের অনুপাত কত হইবে, নির্ণয় কর।

- ৯। (ক) একটি তড়িৎ-বর্তনীতে তাপের উৎপত্তি-সংক্রান্ত জ্বলের সূত্র বিবৃত কর।  
 (খ) তাপের ব্যাস্তিক তুল্যাক্ষ কাহাকে বলে? উহার মান নির্ণয়ের জন্য একটি বৈদ্যুতিক পদ্ধতির বর্ণনা কর।

- (গ) কোন ব্যাতির গায়ে "220 V, 100 W" লেখা আছে। উহার তাৎপর্য কী? এই ব্যাতির রোধ নির্ণয় কর।

১০। (ক) একটি চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। ইহার সুবিধাগুলি কী কী?

- (খ) ল্যাম্পাসের সূত্রটি ব্যাখ্যা কর। প্রবাহমাত্রার তড়িৎ-চুম্বকীয় একক কাহাকে বলে? অ্যাম্পায়ারের সহিত ইহার সম্পর্ক কী?

- (গ) "তড়িৎবাহী সলিনয়েড একটি দণ্ড-চুম্বকের ন্যায় কাজ করে"—একটি সহজ পরীক্ষার দ্বারা উহা প্রমাণ কর।

১১। (ক) তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ প্রক্রিয়া কী তাহা ব্যাখ্যাসহ লিখ।

- (খ) একটি ট্রায়োড ভালভের বর্ণনা দাও এবং উহা কী কী কাজে ব্যবহৃত হয়, তাহা উল্লেখ কর।

১২। (ক) তেজস্ক্রিয়তা কাহাকে বলে? তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে কী কী বিকিরণ

নির্গত হয়? এই সকল বিকিরণের অস্তিত্ব কীভাবে পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করা যায়, তাহা বর্ণনা কর।

(খ) একটি ইলেকট্রনের শক্তি 1 eV বলিতে কী বুঝ?

ইলেকট্রন-ভোল্ট ও আর্গের মধ্যের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(গ) আইনস্টাইনের ভর ও শক্তির তুল্যতা-সংক্রান্ত সূত্রটি লিখ ও সংক্ষেপে উহার তাৎপর্য আলোচনা কর।

১০। (ক) হাইড্রোজেন পরমাণু সম্পর্কে বোর কম্পিত স্বীকার্যগুলি কী কী? বোর তত্ত্বের সাহায্যে কীভাবে হাইড্রোজেন বর্ণালীর উৎপত্তি ব্যাখ্যা করা যায়?

(খ) সংজ্ঞা লিখ: পরমাণু ক্রমাঙ্ক, ভরসংখ্যা এবং কোন মৌলের আইসোটোপ।

(গ) ভারী জল বলিতে কী বুঝায়?

(ঘ) কেন্দ্রক-বিভাজন ও কেন্দ্রকের সংযোজন বলিতে কী বুঝ?

### পশ্চিমবঙ্গ উচ্চ মাধ্যমিক, ১৯৮৮

#### ক—বিভাগ

(যে-কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর লিখ)

১। (ক) প্রমাণ কর, একটি সমতল দর্পণকে কোন এক কোণে ঘুরাইলে একটি প্রদত্ত রশ্মির প্রতিফলিত রশ্মি দ্বিগুণ কোণে ঘুরবে।

(খ) অবতল দর্পণে প্রতিফলন দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব এবং দর্পণের ফোকাস-দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

(গ) দুইটি সমতল দর্পণ পরস্পর 60° কোণে আনত আছে। ঐ কোণের সমদ্বিখণ্ডক রেখার উপর একটি বিন্দু প্রভব রাখিলে মোট কয়টি প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে, চিত্র সহযোগে বুঝাইয়া দাও।

(ঘ) উচ্চে উড়িবার সময় পাখিদের ছায়া দেখা যায় না কেন?

২। (ক) আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের শর্তগুলি লিখ এবং সঙ্কট কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্কটি নির্ণয় কর।

(খ) একটি পাতলা প্রিজ্‌মের উপর আলোক রশ্মি আপতিত হইলে দেখাও যে, রশ্মিটির বিচ্যুতি  $\delta = (\mu - 1) A$ , যেখানে  $A$  = প্রিজ্‌মের প্রতিসারক কোণ ও  $\mu$  = প্রিজ্‌মের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক।

(গ) একটি 30° কোণবিশিষ্ট প্রিজ্‌মের একটি তলের উপর একটি রশ্মি 60° কোণে আপতিত হইল। রশ্মিটি প্রিজ্‌মের অপর তল হইতে নির্গত হয়। নির্গত রশ্মি যদি আপতিত রশ্মির সহিত 30° কোণ করে, তবে দেখাও যে, নির্গত রশ্মিটি প্রিজ্‌মের যে তল হইতে নির্গত হইতেছে, তাহার উপর লম্বভাবে অবস্থিত।

(ঘ) মরুভূমিতে মরীচিকা কীভাবে সৃষ্টি হয়, বুঝাইয়া দাও।

৩। (ক) কোন লেন্সের প্রধান অক্ষ ও প্রধান ফোকাস বলিতে কি বুঝা ?

(খ) একটি বস্তু ও একটি পর্দার মধ্যে একটি উত্তল লেন্স বসানো আছে। লেন্সের দুইটি অবস্থানের জন্য পর্দার উপর বস্তুটির সর্বাধিক গঠিত হয়। সর্বাধিক দুইটির দৈর্ঘ্য  $I_1$  ও  $I_2$  এবং বস্তুটির দৈর্ঘ্য  $O$  হইলে প্রমাণ কর যে,  $O = \sqrt{I_1 I_2}$ ।

(গ) দেখাও যে, অবতল লেন্স-কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্ব সর্বদা অসদৃ এবং বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইবে।

(ঘ) কোন বস্তু হইতে 15 cm দূরে একটি উত্তল লেন্সকে রাখিলে বস্তুটির চারগুণ বিবর্ধিত সর্বাধিক গঠিত হয়। কোন অবস্থানে লেন্সটিকে রাখিলে তিনগুণ বিবর্ধিত অসর্বাধিক গঠিত হইবে ?

৪। (ক) মনুষ্য চক্ষুর উপযোজন ক্ষমতা বলিতে কি বুঝা ? স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব কাকে বলে ? চক্ষুর বিভিন্ন দৃষ্টিজনিত ত্রুটিগুলির উল্লেখ ও ব্যাখ্যা কর। দুইটি চোখ থাকার সুবিধা কি ?

(খ) এক হৃদ-দৃষ্টিসম্পন্ন ব্যক্তি 20 cm দূরে অবস্থিত বস্তুকে পরিষ্কার দেখিতে পায়। 100 cm দূরে অবস্থিত বস্তুকে পরিষ্কারভাবে দেখিতে হইলে কি প্রকৃতির লেন্স ব্যবহার করিতে হইবে ? লেন্সটির ক্ষমতা নির্ণয় কর।

### খ—বিভাগ

৫। (ক) “বিকর্ষণই চুম্বকের প্রকৃত প্রমাণ”—এই উক্তির ব্যাখ্যা কর।

কি কারণে একটি চুম্বকের দুই প্রান্তে সমমেরুর সৃষ্টি হয় ?

(খ) তিনটি একই ধরনের দণ্ড আছে। ইহাদের একটি চুম্বক, একটি চৌম্বক পদার্থের এবং অন্যটি অচৌম্বক পদার্থের। দণ্ডগুলিকে না বুলাইয়া ইহাদের কোনটি কি তাহা কিভাবে সনাক্ত করিবে ?

(গ) আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চৌম্বক সম্পত্তির ব্যাখ্যা দাও।

(ঘ) একটি লৌহ দণ্ডের কিয়দংশ মাটিতে পুঁতিয়া খাড়াভাবে রাখিলে দীর্ঘকাল বাদে দেখা যায় যে, দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হইয়াছে। উত্তর গোলাধারে এইরূপ দণ্ডের উপরিপ্রান্তে কি ধরনের মেরুর সৃষ্টি হইবে যুক্তিসহ উত্তর লিখ।

### অঘণা

৫। (ক) একক মেরু এবং চুম্বকের মেরুশক্তির সংজ্ঞা লিখ। পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর যে-চুম্বকের দুই মেরুর শক্তি সমান এবং বিপরীতধর্মী।

(খ) পরাচৌম্বক এবং তিরচৌম্বক পদার্থের পার্থক্য লিখ। অপরচৌম্বক পদার্থকে কিভাবে পরাচৌম্বক পদার্থে রূপান্তরিত করা যায় ? চুম্বকশীলতা ও চৌম্বক প্রবণতা কাকে বলে ?

৬। (ক) দুইটি বিন্দু তড়িৎ-আধানের মধ্যে পারস্পরিক বল-সংক্রান্ত কুলম্বের সূত্র বিবৃত কর এবং ইহা হইতে একক আধান ও ডাই-ইলেকট্রিক স্থিরাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ।

(খ) কোনও বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সংজ্ঞা লিখ। কোনও বিন্দুতে



তড়িৎ-বিভবের মান শূন্য হইলেও কি সেই বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অস্তিত্ব থাকিতে পারে? উদাহরণসহ উত্তরের ব্যাখ্যা দাও।

(গ)  $20\mu F$  এবং  $60\mu F$  ধারকত্ববিশিষ্ট দুইটি ধারক শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত। সমবায়ের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 40 ভোল্ট করিলে প্রতিটি ধারকের প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব প্রভেদ নির্ণয় কর।

### অথবা

৬। (ক) তড়িৎ বলরেখা বলিতে কি বুঝ? উহাদের ধর্ম কি? দেখাও যে, তড়িৎ বলরেখা ও সমবিভব তল পরস্পর লম্বভাবে থাকে। আহিত পরিবাহীর তল যে সমবিভব তল তাহা পরীক্ষার সাহায্যে কিভাবে প্রমাণ করিবে?

(খ) একটি অন্তরিত পরিবাহীকে ধনাত্মক আধানে আহিত করা হইল। অপর একটি অন্তরিত অনাহিত পরিবাহীকে প্রথম পরিবাহীর নিকটে আনিতে আহিত পরিবাহীর তড়িৎ-বিভবের কোনও পরিবর্তন হইবে কি? ব্যাখ্যাসহ উত্তর লিখ এবং পরীক্ষা দ্বারা তোমার উত্তরের যথার্থতা প্রমাণ কর। দ্বিতীয় পরিবাহীকে ভূমির সহিত যুক্ত করিলে কি ঘটিবে?

### গ-বিভাগ

( যে-কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর লিখ )

৭। (ক) সমগ্রক তড়িৎ-কোষ কাকে বলে। ইহার এই নামকরণের কারণ কি?

(খ) 1.5 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলযুক্ত দুইটি একই ধরনের তড়িৎ-কোষকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হইল। এই সমবায়কে একটি রোধ এবং একটি গ্যালভানোমিটারের সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিলে বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহমাত্রার মান 1 অ্যাম্পিয়ার হয়। কোষ দুইটিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিলে বর্তনীর প্রবাহ মাত্রা 0.6 অ্যাম্পিয়ার হয়। কোষ দুইটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

(গ) দুইটি কোষের প্রত্যেকটির তড়িচ্চালক বল  $E$  এবং অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে  $r_1$  এবং  $r_2$ । ইহাদের শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হইল এবং এই সমবায়কে এমন একটি রোধ 'R'-এর সহিত যুক্ত করা হইল যে, প্রথম কোষের প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব-প্রভেদের মান শূন্য হয়। 'R'-এর মান নির্ণয় কর।

(ঘ) ভোল্ট ও অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা দাও।

৮। (ক) সুইচের সাহায্যে বর্তনী সংহত করিবার 15 মিনিট পর একটি বৈদ্যুতিক কেটলীর তরল ফুটিতে আরম্ভ করে। ইহার তাপক-তারটির দৈর্ঘ্য 6 মিটার। তাপক-তারটির কি পরিবর্তন করিলে 'সুইচ-অন' করিবার 10 মিনিট পর কেটলীর তরল ফুটিতে থাকিবে? পারিপার্শ্বিক বায়ুমণ্ডল তাপক্ষয় উপেক্ষা কর।

(খ) 25 ওয়াট ও 100 ওয়াট দুইটি বাল্বকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিয়া মেন (main) লাইনের সহিত লাগান হইল। কারণ সহকারে বুঝাও, কোন বাল্বটি উজ্জ্বলতর দেখাইবে।

(গ) পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়া ও জীবক প্রক্রিয়া বলিতে কি বুঝ ? জুল প্রক্রিয়ার সহিত পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়ার পার্থক্য কি ? পেল্‌তিয়ে প্রক্রিয়ার একটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর।

৯। (ক) তড়িৎ-বিশ্লেষণ-সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্রগুলি বিবৃত কর। তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা দাও।

(খ) তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে কিরূপে তড়িৎ-প্রবাহের মান নির্ণয় করা যায়, চিত্র সহযোগে বুঝাইয়া দাও।

(গ) একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার এবং একটি রৌপ্য ভোল্টামিটারকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিয়া কিছুক্ষণ যাবৎ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠানো হইল। ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে 5 মিনিটে 0.112 গ্রাম রূপা সঞ্চিত হইল এবং গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ সর্বদা  $30^\circ$  রহিল। গ্যালভানোমিটারের লঘু গুণকের মান কত ? [রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক =  $0.00112$  গ্রাম/কুলম্ব]

১০। (ক) তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ-সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্রগুলি লিখ ও ব্যাখ্যা কর।

(খ) চিত্রসহকারে একটি সরল এ. সি. ডায়নামোর কার্যনীতি বুঝাইয়া দাও, নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে উপরি-উক্ত ডাইনামোর উৎপন্ন তড়িচ্চালক বলের কি পরিবর্তন হইবে; উল্লেখ কর : (i) চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য দ্বিগুণ করা হইল ; (ii) কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের বেগ হাস করা হইল।

### ঘ—বিভাগ

(যে-কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর লিখ)

১১। (ক) এক্স-রশ্মির উৎপাদন সম্বন্ধে সংক্ষেপে বর্ণনা দাও। এক্স-রশ্মির তিনটি ধর্ম লিখ যাহার সহিত দৃশ্যমান আলোকের ধর্মের মিল আছে।

(খ) এক্স-রশ্মির দুইটি প্রধান ব্যবহারের উল্লেখ কর।

১২। (ক) আইনস্টাইন কিভাবে আলোক-তড়িৎ নিষ্সরণ ব্যাখ্যা করিয়াছিলেন ?

(খ)  $5000\text{\AA}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক কোনও ধাতুতে আপতিত হইলে যে ইলেকট্রন নির্গত হয় তাহার সর্বাধিক গতিশক্তির মান  $0.3\text{ eV}$ । ঐ ধাতুর কার্ধ-অপেক্ষক নির্ণয় কর।

$$[1\text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ আর্গ} ; h = 6.640 \times 10^{-27} \text{ আর্গ সেকেন্ড}]$$

(গ) একটি ট্রান্সমিউড ভাল্ভের অ্যানোড ও পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য রেখাগুলি আঁকিয়া দেখাও।

১৩। বোরের পরমাণু মডেলের স্বীকার্যগুলি লিখ। বোরের তত্ত্বের সাহায্যে কিভাবে হাইড্রোজেন বর্ণালীর উৎপত্তি ব্যাখ্যা করা যায় ? 'ভারী জল' বলিতে কি বুঝায় ?

১৪। নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ :

(i) এনু ও পি শ্রেণীর অর্ধপরিবাহী ; (ii) অর্ধপরিবাহী ডায়োড ও উহার ব্যবহার।

## ত্রিপুরা উচ্চ মাধ্যমিক, ১৯৮৮

### ক-বিভাগ

(যেকোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

১। (ক) একটি গোলীয় দর্পণের মেরু, প্রধান অক্ষ, ফোকাস-দৈর্ঘ্য ও বক্রতা-ব্যাসার্ধের সংজ্ঞা দাও।

(খ)  $r$  বক্রতা-ব্যাসার্ধের একটি অবতল দর্পণ হইতে কোন বস্তু  $x$  দূরত্বে অবস্থিত হইলে প্রমাণ কর যে, উহার প্রতিবিম্ব-দূরত্ব হইবে

$$v = \frac{rx}{2x - r}$$

(গ) একটি গোলীয় দর্পণ উত্তল বা অবতল, তাহা কি ভাবে সনাক্ত করিবে?

(ঘ) অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ও ফোকাস-দৈর্ঘ্যের মধ্যের সম্পর্কটি নির্ণয় কর।

২। (ক) পরম প্রতিসরাঙ্ক কাকে বলে?

(খ) কোন প্রিজমের ক্ষেত্রে আপতন কোণের সহিত বিচ্যুতি কোণের সম্পর্ক লেখচিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

(গ) প্রিজমের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক, প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ও ন্যূনতম চ্যুতিকোণের সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর।

(ঘ)  $1.6$  প্রতিসরাঙ্ক এবং  $5^\circ$  প্রতিসারক কোণবিশিষ্ট একটি পাতলা প্রিজমকে  $1.5$  প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট অপর একটি পাতলা প্রিজমের সহিত উহার পাশাপাশি উল্টানো অবস্থায় রাখা হইল যাহাতে প্রথম প্রিজমের উপর লম্বভাবে আপতিত একটি রশ্মি প্রিজমদ্বয়ের মধ্য দিয়া গিয়া কোন বিচ্যুতি ছাড়াই নির্গত হইল। দ্বিতীয় প্রিজমটির প্রতিসারক কোণের মান নির্ণয় কর।

৩। (ক) প্রমাণ কর যে, উত্তল লেন্সে সদৃ প্রতিবিম্ব পাইতে হইলে বস্তু ও প্রতিবিম্বের মধ্যে সবচেয়ে কম দূরত্ব  $4f$  হইতে হইবে ( $f$  = ফোকাস-দূরত্ব)।

(খ) একটি পর্দা হইতে বস্তুটি  $150$  cm দূরে অবস্থিত। একটি উত্তল লেন্স উহাদের মধ্যে অবস্থান করিয়া পর্দায়  $4$  গুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব এবং বস্তু হইতে দূরত্ব নির্ণয় কর।

(গ) একটি উত্তল লেন্স ( $\mu = 1.5$ ) জলে ( $\mu = 1.33$ ) ডোবানো হইল। ফোকাস-দূরত্বের কোন পরিবর্তন হইবে কি? যুক্তিসহ উত্তর দাও।

(ঘ) অনুবন্ধী ফোকাস বলিতে কী বুঝ?

৪। (ক) দীপনমাত্রা ও দীপনপ্রাবল্যের সংজ্ঞা দাও।

(খ) প্রমাণ কর যে, দীপনমাত্রা আলোক উৎস হইতে দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

(গ) একটি দীপ্তিমাপক যন্ত্রের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

(ঘ)  $25$  এবং  $36$  ক্যান্ডেল পাওয়ার দীপনপ্রাবল্যের দুইটি বাতি  $1$  মিটার ব্যবধানে।

ধাকিলে প্রথম বাতি হইতে কতদূরে পর্দা রাখিলে উহার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রা সমান হইবে ?

খ—বিভাগ

৫। (ক) দুইটি চুম্বক মেবুর মধ্যে বল-সংক্রান্ত কুলম্বের সূত্রটি লিখ এবং ইহা হইতে একক মেবুর সংজ্ঞা দাও।

- (খ) “বিকর্ষণই চুম্বকত্বের নিশ্চিত প্রমাণ”—এই উক্তি ব্যাখ্যা কর।
- (গ) চৌম্বকত্বের আণবিক তত্ত্বের ভিত্তিতে চৌম্বক আবেশ ব্যাখ্যা কর।
- (ঘ) পরাচৌম্বক, তির্য্চৌম্বক ও অয়স্চৌম্বক পদার্থ বলিতে কী বুঝ লিখ।

অথবা

৫। (ক) চৌম্বক ভেদ্যতা ও চৌম্বক প্রবণতা বলিতে কী বুঝায় লিখ।

(খ) “আকর্ষণের আগে আবেশ ঘটে”—এই উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

(গ) চৌম্বক ক্ষেত্রে উদাসীন বিন্দু কাকে বলে ?

(ঘ) ভূ-চুম্বকত্বের মূল রাশিগুলি কি, চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

৬। (ক) দুইটি বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ বিভব-বৈষম্যের সংজ্ঞা লিখ।

(খ) পরিবাহীর ধারকত্ব কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?

(গ) একটি গোলাকার পরিবাহীর ব্যাস 2 mm। ইহাকে  $5 \times 10^{-6}$  e. s. u. তড়িদাধান দেওয়া হইল। পরিবাহীটির পৃষ্ঠের বিভব কত হইবে ?

(ঘ) তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য কাকে বলে ? তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও তড়িৎ ক্ষেত্রের বিভবের মধ্যে সম্পর্কটি নির্ণয় কর।

অথবা, ৬। (ক) বজ্রনিরোধকের কার্যনীতি কী ?

(খ) কোন আহিত পরিবাহীতে আধানের অবস্থান কোথায় হয়, একটি পরীক্ষার দ্বারা তাহা বুঝাইয়া দাও।

(গ) একটি 20 e. s. u. ধনাত্মক আধান হইতে 30 cm দূরে একটি 30 e. s. u. ঋণাত্মক আধান অবস্থিত। উভয় আধানের সংযোগকারী সরলরেখার উপর উভয় আধানের মধ্যে ধনাত্মক আধানটি হইতে 10 cm দূরে অবস্থিত বিন্দুতে বিভব কত হইবে ?

(ঘ) তড়িৎ-বিভবের ব্যবহারিক এককের সংজ্ঞা দাও।

গ—বিভাগ

(যে-কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

৭। (ক) একটি বৈদ্যুতিক কোষের তড়িচ্চালক বল ও প্রান্তিক বিভবপ্রভেদের মধ্যে সম্পর্ক কী ?

(খ) একটি সঞ্চারক কোষের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

(গ) কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ হইলে তাহার কি কি ফল দেখিতে পাওয়া যায়, বিবৃত কর।



৮। (ক) পেলুতিয়ে প্রক্রিয়া কাহাকে বলে? জীবক প্রক্রিয়ার সহিত ইহার পার্থক্য কি?

(খ) তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ উষ্ণতা ও উৎক্রম উষ্ণতা বলিতে কী বুঝ?

(গ) 25 ওয়াট ও 100 ওয়াট দুইটি বাল্বকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিয়া মেইন (Main) লাইনের সহিত লাগানো হইল। কোন্ বাল্বটি উজ্জ্বলতর দেখাইবে এবং কেন?

(ঘ) তাপতড়িৎ ক্রিয়ার কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর।

৯। (ক) ফ্রেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম বিবৃত কর এবং চিত্রসহকারে বালের চক্রের কার্বনীতি ব্যাখ্যা করিতে এই নিয়ম প্রয়োগ কর।

(খ) ভোল্টমিটার ও অ্যাম্পিটারের মধ্যে মূল পার্থক্য কি? 300 ওহ্ম রোধাবিশিষ্ট একটি ভোল্টমিটার দ্বারা 150 ভোল্ট পর্যন্ত মাপা যায়। কিভাবে ইহা অ্যাম্পিটারে রূপান্তরিত করিবে বাহাতে ইহা 8 অ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত মাপিতে পারিবে?

১০। (ক) তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ কাহাকে বলে? একটি পরীক্ষার সাহায্যে ইহার অস্তিত্ব প্রমাণ কর।

(খ) তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ-সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্রাবলী লিখ ও ব্যাখ্যা কর।

(গ) ফ্রেমিং-এর দক্ষিণহস্ত নিয়মটি বিবৃত কর।

### ঘ—বিভাগ

(যে-কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

১১। (ক) ক্যাথোড রশ্মির উৎপাদন সংক্ষেপে বর্ণনা কর এবং ইহার চারিটি প্রধান ধর্মের উল্লেখ কর।

(খ) আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ। সূচনা কম্পাঙ্ক কাহাকে বলে?

১২। (ক) তাপীয় ইলেকট্রন নিঃসরণ বলিতে কী বুঝ? কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর ইহা নির্ভর করে?

(খ) একটি ডায়োডের বৈশিষ্ট্যরেখা আঁকিয়া দেখাও এবং উহা ব্যাখ্যা কর।

(গ) একটি ট্রায়োড ভাল্ভে গ্রিডের কার্য কি, বুঝাইয়া দাও।

১৩। (ক) সময়ের সহিত তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুর সংখ্যা কিভাবে হ্রাস পায়, একটি লেখচিত্রের সাহায্যে তাহা দেখাও এবং তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনের সূত্রটি লিখ। তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু কাহাকে বলে?

(খ) কেন্দ্রক-সংযোজক প্রক্রিয়ার কিরূপে শক্তি নির্গত হয় বুঝাইয়া দাও।

১৪। টীকা লিখ (যে-কোন দুইটি) :

(ক) এক্স-রশ্মির উৎপাদন ও ব্যবহার। (খ) আলফা ও বীটা কণা। (গ) কৃত্রিম উপায়ে মৌলের রূপান্তর। (ঘ) শৃঙ্খল বিক্রিয়া।

‘ক’ বিভাগ

(যে কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর লিখ)

1. (a) আলোকের প্রতিসরণের সূত্রগুলি লিখ। কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক কি কি বিষয়ের উপর নির্ভর করে?

(b) 4 সেমি. ব্যাসার্ধের একটি কাচের অর্ধগোলক কাগজে আঁকা একটি ক্রশচিহ্নের উপর কেন্দ্রীয়ভাবে রাখা হইল। উপর হইতে সরাসরি তাকাইলে চিহ্নটির প্রতিবিন্দুর অবস্থান নিম্নলিখিত দুইটি ক্ষেত্রে কোথায় হইবে নির্ণয় করঃ  
(i) যখন গোলকটির সমতল পৃষ্ঠ এবং (ii) যখন গোলকটির বক্রপৃষ্ঠ চিহ্নটির সংস্পর্শে আছে। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.6।

(c) উদয় হইতে অস্ত পর্যন্ত সূর্য আমাদের চোখে  $180^\circ$  কোণ উৎপন্ন করে। কিন্তু জলের অভ্রম্বরে অবস্থিত মাহের চোখে ঐ কোণ মাত্র  $98^\circ$  হয়—ব্যাখ্যা কর।

(d) 6 ফুট লম্বা এক ব্যক্তি একটি বৃহৎ উল্লম্ব সমতল দর্পণ হইতে 15 ফুট দূরে দাঁড়াইয়া আছে। প্রতিবিন্দু-কর্তৃক তাহার চোখে সৃষ্ট কোণের মান নির্ণয় কর।

2. (a) লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব, ফোকাস-দূরত্ব ও প্রতিবিন্দু-দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর। রৈখিক বিবর্ধন কাকে বলে?

(b) একটি অভিসারী আলোক-রশ্মিগুচ্ছ 20 সেমি. ফোকাস-দূরত্বসম্পন্ন অবতল লেন্সের মধ্য দিয়া গিয়া লেন্স হইতে 15 সেমি. দূরে মিলিত হয়। লেন্সের অনুপস্থিতিতে উহারা কোথায় মিলিত হইত?

(c) পর্দা হইতে D দূরত্বে একটি বস্তু আছে। একটি উত্তল লেন্স পর্দায় উহার একটি স্পষ্ট প্রতিবিন্দু সৃষ্টি করে। পর্দার দিকে লেন্সটিকে X দূরত্বে সরাইলে পুনরায় একটি স্পষ্ট প্রতিবিন্দু উৎপন্ন হয়। প্রমাণ কর যে, প্রতিবিন্দু দুইটির আকৃতির অনুপাত  $\left(\frac{D-x}{D+x}\right)^2$ ।

3. (a) বিশুদ্ধ বর্ণালী বলিতে কি বোঝ? বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করিবার জন্য একটি পদ্ধতি চিত্রসহ বর্ণনা কর। (b) ফ্লাউনহফার রেখা কাকে বলে? ইহার উৎপত্তির কারণ কি? (c) সবুজপাতা ও লালফুলে সঞ্চিত একটি গাছকে পরপর সবুজ ও নীল আলো দ্বারা আলোকিত করা হইল। প্রতিক্ষেত্রে পাতা ও ফুলগুলি কিরূপ দেখাইবে? (d) আলোক-বস্তুর কৌণিক বিবর্ধন কাকে বলে?

4. (a) সংজ্ঞা লিখ : দীপনমায়া, ঔজ্জ্বল্য, এবং ফুট-ক্যান্ডেলা।

(b) দীপন-মায়া ও দীপন-প্রাবল্যের মধ্যে সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা কর এবং দীপ্তিমিত্তর বাস্তবদুপাতিক বর্ণায় সূত্রটি নির্ণয় কর।

(c) 10 এবং 90 ক্যান্ডেলা দীপন-প্রাবল্যের দুইটি বাতি পরস্পর হইতে 100 সেমি. দূরে অবস্থিত। উহাদের সংযোজক রেখায় কোন বিন্দুতে একটি ফটোমিটার পর্দার উভয় পার্শ্বে দীপনমাত্রা সমান হইবে নির্ণয় কর। বাতি দুইটির অবস্থান বিনিময় করিলে পর্দার দুই পার্শ্বের দীপনমাত্রার অনুপাত কিরূপ হইবে?

### ‘খ’ বিভাগ

5. (a) সংজ্ঞা লিখ : চৌম্বক দৈর্ঘ্য, চৌম্বক মেরু, চৌম্বক মধ্যতল (b) চৌম্বক আবেশ কাকে বলে? বিষয়টি বুঝাইবার জন্য একটি উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা কর। আকর্ষণের আগে আবেশ ঘটে—এই উক্তিটি ব্যাখ্যা কর। (c) চৌম্বকত্বের আণবিকত্বের ভিত্তিতে চৌম্বক আবেশ ব্যাখ্যা কর।

### অথবা

5. (a) চুম্বকের ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র বিবৃত কর ও উহার ব্যাখ্যা দাও। (b) চৌম্বক বলরেখা কাকে বলে? (c) চুম্বকক্ষেত্রে উদাসীন বিন্দু বলিতে কি বুঝ? কিভাবে উহা সূচ্য হয়?

(d) 36 এবং 49 সি. জি. এস. এককের দুইটি সম মেরু 16 সেমি. ব্যবধানে অবস্থিত। উহাদের সংযোজক সরলরেখার কোন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য শূন্য হইবে?

6. (a) একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও। কিভাবে উহাকে আবেশ দ্বারা ঋণাত্মকভাবে আহিত করা যায়? (b) বজ্রপাত কিভাবে হয়? একটি বজ্রনিবারকের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। (c) একটি তড়িৎক্ষেত্রের দুইটি বিন্দুতে বিভবের পরিমাণ যথাক্রমে 400 ভোল্ট এবং 1000 ভোল্ট।  $3 \times 10^{-8}$  কুলম্ব পরিমাণ ধনাত্মক আধান ঐ বিন্দু দুইটির একটি হইতে অপরটিতে লইয়া যাইতে কি পরিমাণ কার্য করিতে হইবে?

### অথবা

6. (a) কোন আহিত পরিবাহীতে আধানের অবস্থান কোথায় হয়, পরীক্ষার দ্বারা বুঝাইয়া দাও। (b) তড়িৎক্ষেত্র কাকে বলে? তড়িৎ-বিভবের ব্যবহারিক এককের সংজ্ঞা দাও। (c) একটি পরিবাহীর ধারকত্ব বলিতে কি বুঝ? ইহার ব্যবহারিক একক কি? (d) পরস্পর সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত কয়েকটি ধারকের তুল্য ধারকত্বের রাশিমালাটি নির্ণয় কর।

### ‘গ’ বিভাগ

(যে কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও)

7. (a) কিভাবে একটি সরলই ভোল্টীয় কোষের গুটিগুলি দূর করা যায়? (b) একটি টর্চলাইট একটানা জ্বালা থাকিলে উহার আলোর উজ্জ্বলতা হ্রাস পায়, কিন্তু কিছুক্ষণ বিরতির পর জ্বালাইলে আগের মত উজ্জ্বল হয়। কারণ ব্যাখ্যা কর। (c) ওহমের সূত্র লিখ ও ব্যাখ্যা কর। একটি পরিবাহীর রোধ উষ্ণতার সহিত কিভাবে পরিবর্তিত হয়? (d) একটি পদার্থের রোধাক  $9 \times 10^{-8}$  ওহ্ম-সেমি.; ঐ পদার্থের 0.3 সেমি. ব্যাসের কত দৈর্ঘ্যের তার লইলে উহার রোধ 10 ওহ্ম হইবে?

8. (a) তাপ-সংক্রান্ত জ্বলের সূত্রগুলি লিখ ও ব্যাখ্যা কর। B. O. T. একক কাহাকে বলে?

(b) 5 ওহম রোধের একটি তড়িৎ-কোষের সাহিত যুক্ত করা হইল। কোষটির আভ্যন্তরীণ রোধ 20 ওহম। কি মানের সাট যুক্ত করিলে ঐ তাপন তারটিতে উৎপন্ন তাপ পূর্বের মানের  $\frac{1}{4}$  অংশ হইবে?

(c) একটি প্রতিমিত হাইড্রোস্টোন রীজের চারিটি বাহুর রোধ যথাক্রমে 100, 10, 500 এবং 50 ওহম। বাহুগুলিতে উৎপন্ন তাপের তুলনা কর।

9. (a) তড়িৎবাহী তারের সন্নিহিতে উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্রের দিক-নির্দেশক সূত্রটি বিবৃত কর। (b) বালোচক্রেয় কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। (c) ভুলক্রমে একটি অ্যাম্পিটারকে একটি তড়িৎ-বর্তনীতে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হইলে কি ঘটিবে? (d) একটি চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর রোধ 50 ওহম এবং 10 মিলিঅ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ গেলে স্কেলে পূর্ণ বিক্ষেপ ঘটে। ইহাকে কিভাবে সংশোধিত 100 ভোল্ট মাপার ভোল্টমিটারে পরিবর্তিত করা যায়?

10. (a) পরিবর্তী প্রবাহ বলিতে কি বুঝ? প্রবাহের শীর্ষমান ও কম্পাঙ্ক কাহাকে বলে?

(b) একটি তামার রিং অনুভূমিক ভাবে রাখা আছে। একটি দৃঢ়চুম্বক রিংয়ের অক্ষ বরাবর ইহার মধ্য দিয়া ফেলা হইল। এক্ষেত্রে পতনশীল চুম্বকটির স্বরণ অভিকর্ষজ স্বরণের সমান, বেশি না কম হইবে-যুক্তিসহ উত্তর দাও।

(c) তড়িৎচুম্বকীয় আবেশ-সংক্রান্ত লেঞ্জের সূত্রটি লিখ ও ব্যাখ্যা কর। শক্তি সংরক্ষণ নীতির ভিত্তিতে সূত্রটির ব্যাখ্যা দাও।

### ‘ব’ বিভাগ

(যে কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর লিখ)

11. (a) ডায়োড ভালভের গঠনের বর্ণনা দাও। ঐ ভালভের বৈশিষ্ট্য-মূলক লেখচিত্র অঙ্কন কর ও উহার ব্যাখ্যা দাও। (b) ডায়োড ভালভের সাহায্যে কিভাবে পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী করা যায়, বুঝাইয়া দাও।

12. (a) তেজস্ক্রিয়তা কি? তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে তিনটি ভিন্ন প্রকৃতির রশ্মি নির্গত হয় তাহা প্রমাণ করার জন্য একটি পরীক্ষাপদ্ধতির বর্ণনা দাও। (b) তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু বলিতে কি বুঝ? (c) ইউরেনিয়াম ( $_{92}\text{U}^{238}$ ) কেন্দ্রক হইতে ক্রমান্বয়ে আটটি আলফা কণা ও ছয়টি বিটা কণা বহির্গত হইলে যে নতুন মৌলিক পদার্থের সৃষ্টি হয়, তাহার ভরসংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা প্রত্যেকের সাহায্যে প্রকাশ কর।

13. (a) ক্যাথোড-রশ্মির বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্যে প্রধান যে-কোন তিনটির উল্লেখ কর। (b) ক্যাথোড-রশ্মি ও এক্স-রশ্মির মধ্যে মূল পার্থক্য কি? (c) দৃশ্যমান আলোকরশ্মি অপেক্ষা এক্স-রশ্মির শক্তি বেশি—ব্যাখ্যা কর। (d) একটি ইলেকট্রন  $10^9$  সেমি./সেকেন্ড বেগে চলিতেছে। ইহার শক্তি ইলেকট্রন ভোল্টে নির্ণয় কর। ইলেকট্রনের ভর— $9.1 \times 10^{-28}$  গ্রাম।



14. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ (যে কোন দুইটি) :

নিউক্লীয় বিভাজন ; নিউক্লীয় সংযোজন ; কৃত্রিম মৌলান্তর ; ভর-শক্তির তুল্যতা ।

ত্রিপুরা উচ্চ মাধ্যমিক, ১৯৮৯

ক বিভাগ

(যে কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও ।)

১। (ক) সূর্যালোকে উঁচুতে উড়ন্ত বিমানের ছায়া মাটিতে পড়ে না কেন ?  
(খ) দেখাও যে, কোন সমতল দর্পণে  $\theta$  কোণে ঘোরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি  $2\theta$  কোণে ঘোরে। (গ) প্রমাণ কর যে, সমতল দর্পণে আলোক-রশ্মির প্রতিফলনের পথ ন্যূনতম। (ঘ) চাঁদের বলয় গ্রহণ হয় না কেন ?

২। (ক) কাচের ফলকের মধ্য দিয়া কোন বস্তুকে বায়ু হইতে সোজাসুজি দেখিলে লক্ষ্য বস্তুর প্রকৃত অবস্থান ও আপাত অবস্থানের ভিতরের সম্পর্কটি নির্ণয় কর। (খ) প্রিজ্মে সাদা আলোর বিচ্ছুরণ হয় কেন ? (গ) পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজ্মের কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। পেরিস্কোপে দর্পণের পরিবর্তে এইরূপ প্রিজ্ম ব্যবহারের সুবিধা কি ? (ঘ) সংকট কোণ ও প্রতিসরাংকের মধ্যের সম্পর্কটি নির্ণয় কর।

৩। (ক) আলোক কেন্দ্র বলিতে কি বুঝ ? (খ) সমতল দর্পণের সাহায্যে একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় প্রণালী ব্যাখ্যা কর। (গ) একটি পাতলা উত্তল লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব মাপিবার জন্য নীল আলোর পরিবর্তে লাল আলো ব্যবহার করিলে কি একই ফল পাওয়া যাইবে ? ব্যাখ্যা কর। (ঘ) একটি বস্তুকে একটি উত্তল লেন্সের সম্মুখে যে দুই অবস্থানে বসাইলে উহাদের সদৃশবিশ্বের আকার—বস্তুর আকারের যথাক্রমে দুই এবং তিনগুণ হয়, তাহাদের দূরত্বের ব্যবধান 5 সেমি। লেন্সটির ফোকাস-দূরত্ব কত ?

৪। (ক) চোখের ত্রুটিগুলি কি কি ? কিভাবে তাহা দূর করা যায় ? (খ) একটি নভোবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী প্রয়োজনীয় চিত্রসহ বুঝাইয়া দাও। ভৌম বস্তু পর্যবেক্ষণে নভোবীক্ষণের অসুবিধা কি ? (গ) চোখের উপযোজন ক্ষমতা বলিতে কি বুঝ ?

খ—বিভাগ

৫। (ক) “চৌম্বক প্রাবল্য 1 ওয়বস্টেড” বলিতে কি বুঝ ? (খ) একটি চৌম্বক চৌম্বকের প্রান্তদুখী অবস্থানে  $d$  সেমি. দূরে অবস্থিত বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের রাশিমালা নির্ণয় কর। (গ) 0.36 ওয়বস্টেড জ্ঞানভূমিক প্রাবল্য বিশিষ্ট কোন চৌম্বকক্ষেত্রে চৌম্বক মধ্যতলের সহিত  $30^\circ$  কোণ করিয়া একটি চৌম্বককে রাখিতে যে বলের প্রয়োজন হয়, তাহার ভ্রামক 720 ডাইন-সেমি.। চৌম্বকটির চৌম্বক ভ্রামকের মান নির্ণয় কর।

অথবা

(ক) 'উপমেরু', 'কুরী বিন্দু' ও 'চৌম্বক আবেশ' কাহাকে বলে? (খ) আবিষ্ট চুম্বকত্বের মান কিসের উপর নির্ভর করে? (গ) চৌম্বক বলরেখা বলিতে কি বুঝ? ইহাদের ধর্মগুণি উল্লেখ কর।

৬। (ক) ঘর্ষণের ফলে সমপরিমাণ বিপরীতধর্মী তড়িতের উৎপত্তি হয়, ইহা কিরূপে প্রমাণ করা যায়?

(খ) দুইটি ধারকত্ব যথাক্রমে 10 এবং 15 একক। প্রথমোক্ত ধারকটিকে 10 একক এবং দ্বিতীয়োক্তটিকে 5 একক বিভবে আহিত করা হইল। ধারক দুইটিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিলে উহাদের সাধারণ বিভব কত হইবে?

(গ) পেট্রলবাহী লরীর পেট্রল ট্যাংক হইতে ভূমি পর্যন্ত লোহার শেكل ঝুলানো থাকে কেন?

অথবা

(ক) শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত কতকগুলি ধারকের তুল্য ধারকত্বের মান নির্ণয় কর। (খ) একটি সমান্তরাল পাত ধারকের অন্তর্গত আহিত পাতটির সহিত একটি আধান পরীক্ষক যুক্ত করা হইল। এখন ধারকের পাত দুইটির দূরত্ব বদলাইলে কি হইবে? (গ) তড়িৎক্ষেপে সমাব্যব তল বলিতে কি বুঝ? প্রমাণ কর যে, তড়িৎ বলরেখা সমাব্যব তলের সহিত লম্বভাবে থাকিবে। (ঘ) বজ্রনাদ শুনিলে বজ্রাহত হইবার ভয় থাকে না কেন?

গ—বিভাগ

(যে কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও।)

৭। (ক) সরল ভোল্টীয় কোষের স্থানীয় ক্রিয়ার প্রতিকার কি ভাবে করা হয়, লিখ। (খ) প্রাথমিক কোষ ও সঞ্চয়ক কোষের মধ্যে পার্থক্যগুলি লিখ। (গ) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত কয়েকটি রোধের তুল্য রোধের মান নির্ণয় কর। (ঘ) ভোল্ট ও অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা দাও।

৮। (ক) মিটার ব্রিজের সাহায্যে হুইটস্টোন নীতি প্রয়োগে অজানা রোধ নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্ণনা কর। (খ) তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল-সম্পর্কিত জুলের সূত্রগুলি লিখ ও ব্যাখ্যা কর।

(গ) একটি বৈদ্যুতিক কেটলির উত্তাপক তারের রোধ 100 ওহম এবং প্রবাহের মান 3 অ্যাম্পিয়র। এই কেটলির সাহায্যে 1 কিলোগ্রাম জলকে  $20^{\circ}\text{C}$  উষ্ণতা হইতে স্ফুটনাংকে আনিতে কত সময় লাগিবে? ধরিয়া লও উৎপন্ন তাপের সবটুকুই জল কর্তৃক শোষিত হইতেছে।  $J=4.18$  জুল/ক্যালরি।

৯। (ক) একটি চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের গঠন ও কার্যনীতি বর্ণনা কর। (খ) ল্যাম্বার্টের সূত্রটি বিবৃত কর এবং ইহা হইতে কিভাবে তড়িৎ-প্রবাহের তড়িৎ-চুম্বকীয় একক স্থির করা হয়, দেখাও।

১০। (ক) আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ বলিতে কি বুঝ? শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতে লেঞ্জের সূত্রের যথার্থতা প্রমাণ কর। (খ) একটি দণ্ড



চুম্বকের উত্তর মেরুকে একটি বস্তু বর্তনীর দিকে মূখ্য করিয়া বর্তনীর অভিমুখে লইয়া গেলে বর্তনীর উৎপাদিত আবিষ্ট প্রবাহ কোন দিকে প্রবাহিত হইবে? (গ) একটি পরিবর্তী প্রবাহ জেনারেটরের কার্য পদ্ধতি সংক্ষেপে বিবৃত কর।

### ঘ—বিভাগ

(যে কোন দুইটি প্রশ্নের উত্তর দাও।)

১১। (ক) বায়ুকে কি উপায়ে তড়িতের পরিবাহী করা যায়? (খ) এক্স-রশ্মি ও ক্যাথোড-রশ্মির পার্থক্য কি? (গ) ট্রায়োড ভাল্ভের ধ্রুবক, তিনটির সংজ্ঞা দাও ও উহাদের মধ্যের সম্পর্কটি লিখ।

১২। (ক) এন-শ্রেণী ও পি-শ্রেণী অর্ধপরিবাহী পদার্থ বলিতে কি বুঝ? একটি অর্ধ পরিবাহী ডায়োডের বৈশিষ্ট্য রেখা আঁকিয়া দেখাও এবং উহার ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর। (খ) পরমাণু-কেন্দ্রকের স্থায়িত্ব ব্যাখ্যা কর।

১৩। (ক) তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক কি উদাহরণসহ বুঝাও ও উহাদের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর।

(খ) যদি আল্ফা-কণিকার দ্বারা একটি A ভর-সংখ্যা ও Z পারমাণবিক সংখ্যা সম্পন্ন কোন কেন্দ্রকে রূপান্তরিত কর্ত্তা হয়, তাহা হইলে যখন (i) একটি প্রোটন নির্গত হয় এবং (ii) যখন একটি নিউট্রন নির্গত হয়, তখন যে কেন্দ্রগুলি সৃষ্টি হইবে তাহাদের A ও Z কত? (গ) পারমাণবিক ভর একক কি? ইহার সাহিত ইলেকট্রন ভোল্টের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

১৪। টীকা লেখ (যে কোন দুইটি) :

(ক) কোয়ান্টাম তত্ত্ব (খ) পারমাণবিক চুল্লী (গ) ডায়োড ভাল্ভ-কর্ত্তক একমুখীকরণ (ঘ) ভর ও শক্তির তুল্যতার সূত্র।

### অপাঠের প্রকাশিত

উচ্চ মাধ্যমিক পদার্থবিজ্ঞানের অন্তর্ভুক্ত বই

1. পদার্থবিজ্ঞানের অঙ্ক ( ১ম ও ২য় খণ্ড ) :

ডঃ অজয়কুমার চক্রবর্তী ও নীলিমা চক্রবর্তী । ( উচ্চ মাধ্যমিক, প্রথম ও দ্বিতীয় এবং আই. আই. টি. অ্যাডমিশন জে.সি. পরীক্ষার্থীদের জন্য ) ।

2. পদার্থবিজ্ঞান-নীলিমা চক্রবর্তী :

ডঃ অজয়কুমার চক্রবর্তী ও নীলিমা চক্রবর্তী ( ডঃ অজয় কুমার চক্রবর্তী প্রণীত 'উচ্চ মাধ্যমিক পদার্থবিজ্ঞান' গ্রন্থের জটিল প্রস্তাবের প্রসারিত এবং অন্যান্য কিছু সংশোধন প্রস্তাবের উপর এই বইতে পাওয়া যাবে । অঙ্ক-১, অঙ্ক-২ এবং আই. আই. টি. অ্যাডমিশন জে.সি. পরীক্ষার্থীদের কাছে এ বই অপরিহার্য । )

3. ব্যবহারিক পদার্থবিজ্ঞান :

ডঃ অজয়কুমার চক্রবর্তী এবং ডঃ সত্যকুমার বেরা ।